

博 士 学 位 論 文

体感と感動に基づくメカトロニクス教材の開発および
教育効果に関する研究

平成 27 年 3 月

宇 都 宮 大 学 大 学 院 工 学 研 究 科
博士後期課程システム創成工学専攻

田 崎 隆 男

目 次

第1章 序 論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	3
1.3 本論文の構成	4
第2章 関連研究	5
2.1 ARCS 動機づけモデルに関する研究.....	5
2.1.1 ARCS モデルと工学教育に関する研究	6
2.2 ロボット教育に関する研究	7
2.2.1 ロボット感動教育に関する研究	7
2.2.2 倒立振子教材に関する研究	10
2.2.3 体感を利用する教材に関する研究	10
2.3 感動体験に関する研究	11
2.4 本章のまとめ	13
第3章 体感に基づく教材の開発とロボット感動教育	14
3.1 工業高校における新しいメカトロニクス教育の提案	14
3.1.1 はじめに	14
3.1.2 工業高校における制御教育と実工学	18
3.1.3 生徒に対するメカトロニクス教育に関する方向性	20
3.1.4 先進的なマイコン制御製品とフィードバック制御学習	20
3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案	23
3.2.1 ARCS モデルに基づく教材設計.....	23
3.2.2 ARCS モデルに基づくロボット教材の方略	24
3.2.3 ARCS モデルによるロボット教材の動機づけの検討	26
3.2.4 体感と感動に基づくメカトロニクス教材の設計	26
3.2.4.1 基本構想	26
3.2.4.2 ロボット教材の設計手順	30
3.2.4.3 ロボットを構成する装置の設計	36
3.2.4.4 ロボット教材としての評価	46
3.3 体感に基づく教材を用いたロボット感動教育	47
3.4 教材の持つ感動の検討	49
3.5 体感と感動に基づくロボット感動教育	51
3.6 本章のまとめ	52
第4章 本教材を使った教育効果に関する実験	54
4.1 課題研究における製作に関する実験	54

4.1.1	課題研究（作品製作）テーマの検討	54
4.1.2	実施条件の検討	56
4.2	体感に基づく制御実験	63
4.2.1	工学部以外の学生に対する予備実験	63
4.2.2	実験アンケートの内容	64
4.2.3	生徒に対する体感に基づく制御実験	65
4.3	倒立振子模型を使った制御理解に関する実験	66
4.4	本章のまとめ	70
第5章	本教材のメカトロニクス教育に関する実験結果	71
5.1	課題研究における製作に関する実験結果	71
5.2	体感に基づく制御実験結果	74
5.2.1	工学部以外の学生に対する予備実験結果	74
5.2.2	生徒に対する体感に基づく制御実験結果	79
5.3	倒立振子模型を使った制御理解に関する実験結果	82
5.4	本章のまとめ	85
第6章	考 察	86
6.1	はじめに	86
6.2	製作に関する考察	86
6.3	体感および制御理解に関する考察	87
6.4	本章のまとめ	87
第7章	結 論	88
7.1	本研究の結論	88
7.2	展望	90
	参考文献	91
	謝 辞	97
	発表論文	98
付録A	メカトロニクス教育，フィードバック制御に関する資料	100
付録B	「特許倒立振子型移動体および教育教材に関する考察」	102
B.1	倒立振子とは	102
B.2	特許に関するもの（特許資料より抜粋）	102
B.2.1	倒立振子型移動体および教育教材	102
B.2.2	教材の教育効果	102
B.2.3	制御の理論や特徴	103

まえがき

著者は平成 19 年度後期に宇都宮大学大学院へ内地留学の機会を得た。本論文は内地留学中に研究したメカトロニクス教材の開発に教育現場における活用方法を加え、発展させたものである。公聴会では、本研究内容は工学的ではなく客観的なアプローチがなされていない、数値として検証されていないなどご指摘を頂いた。本研究の結果が教育効果の評価を、筆記試験の成績や意欲の変化について数値として示し評価していない点である。学習者の技術習得状況について具体的な数値として評価することが問われている。教育現場において技術・技能は、筆記試験等では把握、評価しづらく、各教育機関においても質の保証の一環として、研究が進められている。学習意欲や魅力ある教材の評価と教育効果については主観的な捉え方を意識することになるだろう。研究結果には、生徒を特定するような情報や成績を掲載することを極力控えた立場をとり、実験の感想、主観的な評価を基に研究成果をまとめて検証した。

体感と感動に基づくメカトロニクス教育を提案した。特徴は体感、ARCS モデル、ロボット、倒立振子、スモールステップ教育を用いることである。この結果、制御理解、問題解決能力の育成、他の課題への応用力を確立し、技術者としての自信・満足感を提供することに効果を上げている。

生徒に対するものづくりと技術・技能の教育に、ARCS モデルおよび感動に基づく視点が学習者と教師や指導者に効果が有ると考える。本論文が生徒、学生に対する魅力あるメカトロニクス教育のアプローチとして、動機づけ、理解の促進、技術者に求められる資質・能力の育成に活用されること、新たな工学教育手法開発の契機となることを期待する。

第1章 序 論

1.1 本研究の背景

現在、少子化に加え、若者の理科離れやものづくりの関連産業において人材不足が指摘されており、日本のものづくりにも深刻な影響が懸念されている。日本の経済成長の原動力となってきたものづくり、技術立国日本の存続が危ぶまれる状況になりつつある。

増田[1]は経済の視点から、理科離れとは理科・数学に対して児童・生徒の興味・関心と学力の低下、若者の進路選択における理工系離れ、理工系学生の学力低下の結果、将来の科学技術人材が育たない問題の総称であると捉えた。若者が理科に対して消極的な印象を持っていることが課題であり、解決するには国民全体の科学リテラシー向上と実験体験を通じた対策が不可欠と指摘している。

次に理科教育の立場から検討する。黒杭[2]によって理科離れの現状、鶴岡[3]によって大学・高校における理科離れの現状や渡辺[4]によって理科離れの対策について研究されている。将来、理科離れが続くことがあるとすれば、今まで我が国の強みであった、ものづくりが継続しにくいことを示した。今後も技術やものづくりで日本を支えていくために、ものづくりに携わる若者を増やしていくことが重要であることを再認識した。また、魅力的なものづくりに対して、技術・技能を駆使して、自分しかできない作品を作り出すものづくり教育を展開すると共に、技術者育成を円滑に実施する工夫を常に考えることが求められている。

次に、ものづくりとロボット教育について検討する。藤本[5]らは日本のものづくりの今後について提言している。これによれば、どこの国もできない、困難な設計を引き受けものづくりに特化していく設計立国を提案している。既存の方法だけではなく、次の段階に合わせた技術活用に道を求めていくことが、次世代のものづくり、技術立国に繋がると指摘している。そのための技術・技能、工学、理論を学ぶことが望まれている。

近年、マイコン制御で動作する製品や商品が身のまわりにあふれていることから、市民レベルでも興味関心が高くなってきている。岩本[6]はロボットを教材にした小学生を対象とした教育実践が地域と協力して増えてきている現状を報告している。この中で小学生が自分で製作しプログラム作成を体験するロボットを使った教育がものづくりの動機づけとして有用なことを明らかにした。

1.1 本研究の背景

琴坂[7]は科学・技術人材育成について、ロボット教育が有効であると予測している。また、問題も提起している。一般的にはロボットは特殊な分野と見られていること、高度な技術が使われている程度の認識に留まり、発展的な理解を促進する意識が社会全体に不足していることを挙げている。

佐橋[8]らは学生に対する自律型倒立振子ロボットの設計・製作実験を行い、自ら考えてシステム全体を開発することにより、エンジニアリングデザイン能力の向上やものづくりへの興味が高められることを明らかにした。工業高校生（以下生徒と呼ぶ）にもこのようなロボット教育を展開し理科離れの解消に努めなければならないと考える。

現在は工業系学科の生徒は、物珍しさからロボットを積極的に学んでみたいと考えていることが推測できる。生徒にとって、ロボットが一般的になった時でも、物珍しさを超える動機づけと学習意欲を高められる教材に魅力を感じる。工業高校において、ロボットは物珍しさから、便利な学習テーマとして位置づけられてはいまいか。一過性の技術教育テーマではなく普遍的で基礎的な技術を習得できる、知っておくべき技術への位置づけを図る時期である。ロボットが生徒にとって、珍しいもの以上に学んでよかった魅力に溢れ、学びがい、満足感のある学習として位置づけられること重視する。

次に工学教育と制御技術について検討する。制御技術は日本の工業技術を代表するとも言われており、専門高校でもマイコン制御技術、メカトロニクス技術など制御技術を通して生徒を教育することが必要とされている。具体的な例を挙げる。この対応として専門高校では、ロボットをマイコン制御の学習として取り入れる例が多く、トレースロボット製作や基礎的な制御プログラミング技術を習得させる努力が続けられている。電子機械科では、少しでも現状を解消するための取り組みとして制御に関する授業を展開し、技術習得に努力してきた。その結果、生産システム関連職種に多数の人材を送り出しているなど、一定の成果を上げている。

次に制御教材について検討する。研究機関、高等教育機関では様々な制御教材が開発されているが、工学の基礎を学ぶ学生が対象であり、ものづくりの体験や実習を経験してきた生徒には、やや難しく導入に至っていない。工業高校において制御工学や制御技術に取り組んでいる学校が少ないこと、ロボット教育に携わる教育関係者が少ないことが影響して、ロボット教育、フィードバック制御に関しては、有効でわかり易い授業が展開できていない。実践的な活用を意識した教育の機会を増やし、ロボット教育を受けた人材をできるだけ多く輩出することで、有能な人材確保に貢献したい。そこで、設計、製作、加工、

1.2 本研究の目的

材料の選択，構造，作りやすさ，見栄えを考慮した教材が必要と考える．ものづくりの基礎に加え，メカトロニクスに関する制御理論の基礎までを習得できる教材に魅力を感じる．

長谷川[9]らの「高校工業教育における実験・実習の内容とその教育効果に関する実証的調査研究」によると各種計測・測定やフィードバック制御に関するテーマがかなり削減されていることが指摘されている．ものづくりの基本，実験の体験としては計測・測定の知識は基本であり，科学的な考え方の基ともいえる．また，制御技術に関する基本を理解し，習得するために必要な実験が不足して課題が残る状況である．授業も削除されている現状では，特に効果的な教育が必要とされている．多様な資質・能力を有する生徒に対し積極的にものづくりに関わる自主性を育てることも重要である．ロボット製作を通して，自ら基礎的な構造を設計，製作，制御し，新しい品物を生み出す経験が必要と考える．既存の方法に加え自由な発想で自らの技術を駆使して作り上げる体験を通して，将来のものづくり産業を支える技術者を育成する必要がある．

1.2 本研究の目的

第 1.1 節で述べた研究の背景から，生徒に対するメカトロニクス教育に用いる体感と感動に基づく搭乗型倒立振子台車を開発することにした．次に，制御実験を行い，制御理解を引き出せるか教育効果を確認する．以上のことから，体感と感動に基づくメカトロニクス教材の開発および教材を用いたメカトロニクス教育の教育効果と有用性を検証する．

- 1 生徒が高校で学習する技術で製作できる搭乗型倒立振子台車を開発する．
- 2 本教材を使った製作および体感に基づく制御実験を行い，学習意欲の向上と制御理解を引き出せるか検証する．

1.3 本論文の構成

1.3 本論文の構成

本論文の構成を以下に述べる．

本章では，研究の背景および目的について述べる．

第2章では，関連研究について述べる．特に教材開発に関する指針である ARCS 動機づけモデル，ロボット感動教育に関する研究について重要性を議論する．また，体感を利用する教材について，感動体験との関連，新規性について示す．

第3章では体感に基づく教材の開発とロボット感動教育について，工業教育に対する位置づけ，求められる教育効果について述べる．また，教育として実施するための教材設計，評価について提案する．

第4章では，第3章の提案について実験を通して検証した．生徒に対するメカトロニクス教育の効果について，学生を比較対象にした結果から体感に基づき制御理解に結び付けられるか実験を行う．

第5章では，製作に関する実験，制御理解に関する実験を通して，提案する本教材，教育手法の有用性を示す．

第6章では，実験結果から本教材を用いたメカトロニクス教育を総合的に検証し，本論文における提案手法が有用であることを述べる．

第7章では，本研究の結論についてまとめ，総括する．そして今後の展望を示す．

第2章 関連研究

2.1 ARCS 動機づけモデルに関する研究

ARCS 動機づけモデル（以下、「ARCS モデル」と呼ぶ）は、アメリカの教育工学者 J. M. Keller[10]によって提唱されたものである。学習者の学習意欲を高める方法として幅広い分野で実践的活用が研究されてきた。中畠[11]の研究において、インターネット検索によれば 2013 年 9 月現在、ARCS モデルに関する参考文献数はおよそ 37,500 件との報告もある。2014 年 12 月現在、論文数は CiNii では 78 件であった[12]。

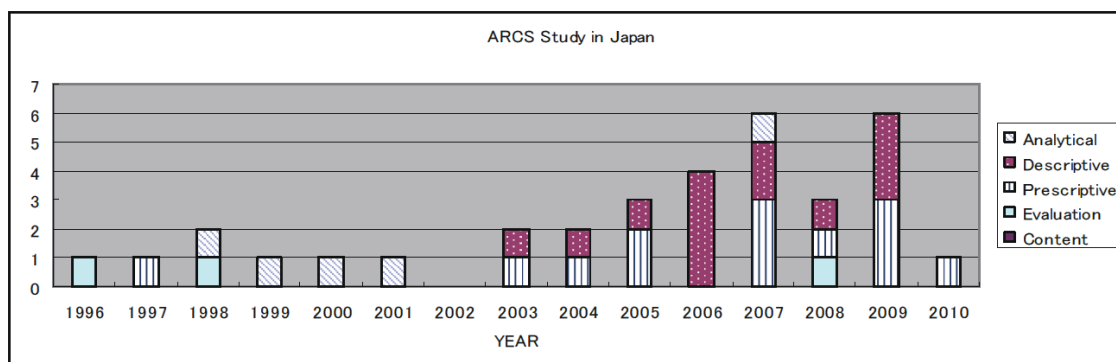


図 2-1 分類ごとの ARCS 研究 鈴木克明（2010）

日本においては、鈴木[13] [14] [15]が 1987 年から研究してきた。最初は CAI 教材等に用いられてきた教材開発の指針である。現在は、情報技術や語学用の教材開発について中富[16]をはじめ多くの研究がみられる。年々、取り上げられる機会が増加しており、発展的な ARCS-V モデル等の研究が鈴木[13]、中畠[11]らによって進められている。

あらゆる分野の学習に様々な教材があるが、教材開発の目的は学習意欲を高めることである。ARCS モデルは生徒に対する学習意欲を高める要素の意味を明確に示している。すなわち、教材の持つ学習意欲を高める要素は ARCS モデルを参考に設計することで、魅力的な教材に仕上げるができる。

さらに、学習意欲を高める効果的な教材としての完成度を高めるために王[17]はガニエ

2.1 ARCS 動機づけモデルに関する研究

の9教授事象と同時に用いることで効果が高められることを明らかにした。ロボット教育にARCSモデルを加えて、現在のロボット教育を超える教育手法を開発することができよう。

2.1.1 ARCS モデルと工学教育に関する研究

ARCS モデルは大きく4要因に学習者の学習意欲を分類したもので、さらに4要因には3つの要素が含まれている。つまり12の項目について検討し教材設計することで、学習意欲を高め、教育効果も高める。4要因のA注意、R関連性、C自信、S満足感の項目について枠組みと動機づけの12項目の方略、さらに動機づけ設計の手順を提案したもので、鈴木[13][14][15]は、情報技術教育の分野にARCSモデルを活用する研究を行い、CAI教材について検証している。そして稲守[18]は高等専門学校生を対象にしたシーケンス制御教材にARCSモデルを指針として採用した。これらの考えを支持するが、生徒を対象にしたメカトロニクス教材に適用し開発した例は見られない。

表 2-1 ARCS モデルと学習の方略 鈴木克明 (1995)

カテゴリー	方略のタイプ
Attention (注意) おもしろそう	A-1 知覚的喚起
	A-2 探求心の喚起
	A-3 変化性
Relevance (関連性) やりがいがありそう	R-1 目的指向性
	R-2 動機との一致
	R-3 親しみ易さ
Confidence (自信) やればできそう	C-1 学習欲求
	C-2 成功の機会
	C-3 コントロールの個人化
Satisfaction (満足感) やってよかたな	S-1 自然の結果
	S-2 肯定的な結果
	S-3 公平さ

2.2 ロボット教育に関する研究

2.2 ロボット教育に関する研究

2.2.1 ロボット感動教育に関する研究

日本ロボット学会は 2008 年度にロボット教育研究専門委員会を設置し，高等教育機関をはじめ，企業，自治体，各国が色々なロボット教育を展開している現状を体系的に調査研究し，ロボット教育への取り組みを提言として取りまとめた．ロボット感動教育として 2011 年ロボット教育研究専門委員会報告書[19]で詳細に報告している．

ロボット教育の方向性，意義，教育方法，技術者像を整理し提案している．ロボット感動教育は総合的なメカトロニクス教育であり，感動を与えることのできる教育手段であることも指摘している．感動を提供することを強調している点が重要であることは本研究と一致している．しかし，生徒に対するメカトロニクス教育と感動の効果を研究した例は未だに無い．また，制御の効果を，身体を通して理解する研究は見当たらない．

この報告書の中で感動を軸に心に火をつけるとあり，生徒に対しては適していると考えられる．また，我が国の自動車産業に次ぐ大きなロボット関連産業をつくりあげていく予想を示している．次世代の技術者として若者にロボット感動教育を浸透させ，実現することが期待されている．

一方で問題解決型教育の不在も指摘している．高専，大学に対しロボット工学に関するアンケート調査を実施している．その結果，教育内容，教育手法，カリキュラム構築に向けて高専，高校においては専門性の高い高度技術に踏み込む必要がないことや総合的な教材としての有効活用を結果として得たことを重視している．また，ロボット教育により次のことに活用できると指摘している．①趣味の分野，家庭，医療，福祉，災害防止．②教育の分野．③技術教育へのロボットの活用．特に教育の分野ではロボットの動きや形から受けるイメージにより，学習者に強い印象を残すことができる．実際に工業高校では広くロボットが活用されている．ロボットはマイコン，アクチュエータ制御，センサ，歯車機構など様々な技術の集まった教材であり，課題解決学習に優れていること，制御されたロボットはわかり易く，生徒にも活用できることも指摘されている．

ロボット教育には，ロボットを使った教育およびロボット工学の 2 つの意味をもつことも指摘されている．本研究はロボットを使った教育について検証したものである．感動の中身は ARCS モデルに対応させて検討することにする．感動の定義，種類，評価については他の先行研究事例を参考にする．また，本研究の内容は教材製作，ロボットによるメカト

2.2 ロボット教育に関する研究

ロニクス教育，体感による制御理論の理解について教育効果を検証する．

本教材は，機械系学科の課題解決学習に役立てる点を中心に進めた，生徒を対象にしたロボット工学やメカトロニクス教育に関する先行事例といえる．新規性，独創性，普遍性などロボット工学研究者や工業教育に携わる者でなければ気が付かない部分を明らかにすることがポイントである．

ロボコンでは児童生徒創造コンテスト，高校生アイディアロボットコンテスト，高専ロボコン，工学系学生レスキューロボコン，屋外移動に関する実証実験つくばチャレンジなど様々なコンテストが開催されている．しかし，いくつか重要な問題を提起している．コンテストを継続していくと，ロボットはノウハウの塊であるため，参加は常連グループのみに偏っていく．この問題の解消を目指したロボットコンテストにジャパンマイコンカーラリーがある．上位入賞したマシンは技術公開の原則を取っている．そして，初心者クラス，上位者クラスを設置して参加者を広く募集する工夫をしている．教材も購入しやすい価格で提供し，学習対象を幅広く設定するなどロボット教育の裾野を広げる活動に力を入れている．資料もハードウェア，ソフトウェア，学習内容を補助する資料を丁寧に整備して販売している．このことは，企業もロボット教育に様々な可能性を感じていることを示している．

河村[20]は，我が国の21世紀型課題を解決する課題解決型国家のモデルを目指すためのイノベーションに科学・技術の将来へ人材育成[21]が重要である指摘している．ロボットの外観や動作に感動することは，若者に欠けているといわれる課題発見・課題解決能力の涵養に資し，児童から老人まで年齢を問わずロボットに関する科学技術の理解，ものづくり教育の人材育成に効果を発揮すること，教育現場の理科離れも抑制する効果も指摘している．

一方では，ロボット教育は動機づけの効果は認められるが，遊びの要素ではないか，勝敗にこだわるあまり教育的ではない，どのような教育効果があるのか明確でないまま体験のみを重視してはいないか等，問題点も指摘している．

村井[22]はロボット教育の動向について研究のなかで「ロボット」を「センサ，知能・制御系，駆動系」の3つの要素技術を有する「知能化した機械システム」として，定義している．また初等教育から高等教育までロボットを教材にした教育により成果が上がっている点，ロボットの教材としての有効性も強調している．ロボット教育の導入・普及により，機械，電気電子，情報技術を総合的に習得することに教育効果が有り，バランスの良

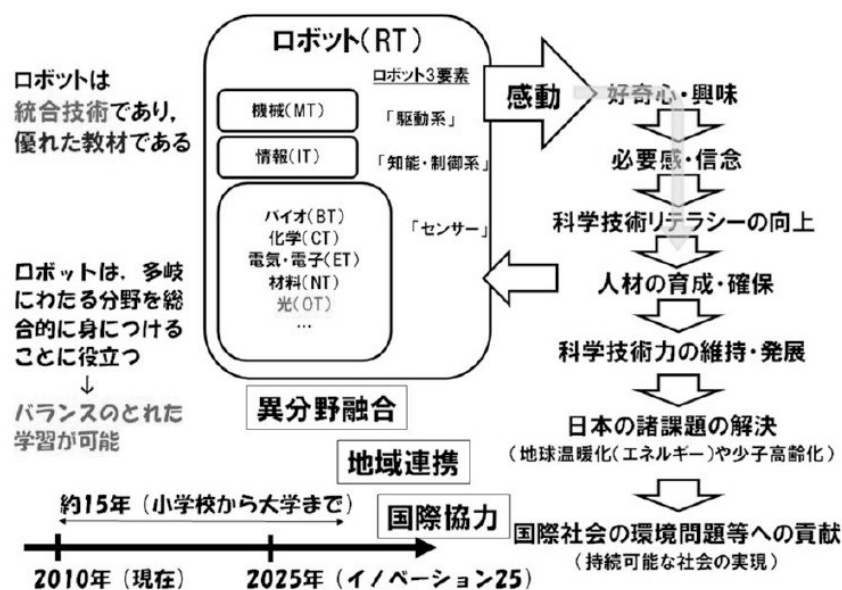


図 2-2 河村ロボット感動教育の地域活動財についてより (2013)

い工学教育を展開できると指摘している。ロボットは感動を与えるだけではなく多くの技術を総合的に身に付けるバランスのとれた学習教材であるといえる。結果として、若者の理科離れの解消とものづくりに携わる人材の育成に最適と考える。

前田[23]は高専ロボコンの教育効果について、評価項目に参加した学生の進路を挙げている。メカトロニクス関連の製造業に進む卒業生が多い傾向があることを示している。川原田[24]はロボット教材により身につく能力に言及している。実際の動きとセンサとモータ、つまり入力情報から出力を関連させ制御することで論理的思考を実践できることを指摘している。また、他者との協力により課題を解決することでコミュニケーション力を育成することを指摘している。工業教育では、ロボット教育の授業を通して、プログラム構築しセンサの情報をモータの動きに変換する体験ができること、また、スモールステップの課題を繰り返し学習することで制御技術を身に付けることが期待されている。

2.2 ロボット教育に関する研究

2.2.2 倒立振子教材に関する研究

佐橋[8]，青木[25]は倒立振子の製作を通して興味関心，メカトロニクスおよび組み込み技術への動機づけを目的に教育効果を検証している．大学および高専の学生を対象にした興味を引き出すためのテーマとして倒立振子を選択している．

伊藤[26]らは，自ら考えて製作から制御までを体験し制御理論を習得する教育方法を研究している．面白そうな印象を与えることで，学習意欲を高める点に注目している．この点で本研究の目的と一致している．

生徒の制御理解を引き出すためには，実験まで時間をかけ実施する必要がある，本教材のように制御の効果をその場で任意に変更できる点が異なる．

上記の研究では倒立振子教材による実験導入の検討をしている．やはり倒立振子を使った教育が魅力的である．まだ，学習の動機づけ以外に教育効果を ARCS モデルに対応させた教材はない．ARCS モデルは，より効果的な教材とはどのように設計すればよいかを明確に指摘しており，実現すればその効果をもって制御理解を引き出すことができよう．

2.2.3 体感を利用する教材に関する研究

浅井[27]，井上[28]は，体感と制御技術について言及している，制御をまずは手に加えることで理解を促進しようとする研究である．また倒立振子教材を制御教育の導入時体験講義に用いた研究がされている．しかし，本研究の制御の理解に直接結び付くような結果は示されていない．本研究では体感を利用することを取り上げており，生徒に対するメカトロニクス教育への活用をポイントとしている．実用的なロボットに搭乗することで引き出せる興味関心に対して，手に加える制御体感では実用をイメージすることに結び付きにくいといえる．

やはり，教材を作り，搭乗して制御の効果を体感することで，技術を実工学として身に付けものづくりへの自信ができると考える．

2.3 感動体験に関する研究

感動とは広辞苑によれば「深く物に感じて心を動かすこと」と定義されている。戸梶[29]～[32]の研究によれば、感動は日本人特有の感情の表現であることが指摘されており、感動は複数の感情との間に密接な関係があり、単一の感情価として捉えることができないという特徴を持つと定義している。そして、欧米の心理学における研究は皆無である。また、感動に相当する適切な英訳が見当たらない。戸梶[29]は感動の類型化を試み、喜びに随伴する感動、悲しみに随伴する感動、驚きに随伴する感動、尊敬に随伴する感動に分類した。この中で注目するのは、喜びに随伴する感動である。喜びは最も頻繁に感動に伴う感情として挙げられている。教育の効果を高める要因として、喜びに焦点を当てる。学習は学んで終わりではなく、新たな課題に対する学ぶ意欲に繋がるのは経験的に喜びが適当であると推測した。自発的な学習意欲に結び付いているといえる。この感動により教育効果が上がることを検討したい。

戸梶の研究では感動という感情の特徴は継続時間が比較的長いということである。特に喜び、嬉しさは深く心に刻まれ心が動かされる見解を得ている。このことから恐れ、恐怖に感じ入ることはなく、継続時間も短いことがわかっており、教材から受ける感動はやはり、喜びや嬉しさを表現した言葉に置き換えられる。たとえば、「良かった」、「できた」、「やった」、「満足」など感動体験は激しい情動活動のため長期にわたり記憶に残ることを指摘している。

感動体験と自己効力感[33]、感動体験と学習[34]、感動体験の特徴[35]、感動体験を生理心理学的にとらえた研究[36]がある。これらの研究からいえることは、感動をメカトロニクス教育に加える効果は、難しい内容や挑戦しようとする課題に学習へ動機づけを強化することと言える。次の段階への意欲に繋がる原動力になると考える。また、生徒によって感動の種類や程度が違うことが予想できる。

大出[37]らは感動の内、積極的な意欲に繋がると言われる「やったー」、「できた」を感動語として取り上げている。感情心理学では、感動に関する先行研究において音楽と感情の質的な関係を調べるのが進められてきた。大出[38]らは多様な心理状態を体系的に把握するために感動語の分類を行っている。感動の評価として150の感動語を取り上げている。教育に限定するならば意欲、特に次の段階の学習に対する動機づけとして相応しいのは表出的（正の感情）の①歓喜②興奮③魅了に分類される感動を表す言葉を抽出すること

2.3 感動体験に関する研究

になると考えた。よって感動の評価として、これらの感動語が出てくる回数や表現を本人の言葉を通して忠実にとらえることがよいであろう。生徒の感想、考察の記述から読み取ることが感動の種類、イメージの強弱を探り当て易く、正確な評価に繋がると考えた。感動の評価としては大出の研究から、感動語の分類が行われ評価に結びつけてきた。実際には感動を体験する前後の生理の反応を測定するなどが挙げられる。また、表情を観察など被験者の様子を把握することも有効なことが指摘されている。

戸梶[31]は感動体験の効果を3つ挙げている。

- (a) 動機付けに関する効果
- (b) 認知的枠組みの変更に関する効果
- (c) 他者志向・対人受容など人間的成長のプロセスに働く効果

である。この研究では特に(a)の具体的な効果として、青年期前期までの感動体験は「自己効力感」を高めるという点を指摘している。

戸梶[30]は、感動とは反応が非常に劇的で種々の生理的反応を伴って、考え方、認知的転換を誘引する長期間影響を与えるようなことを指摘した。

次に本教材とARCSモデルの対応を検討した。(a)動機づけAR, (b)認知的枠組みの変更に関する効果CSとすることを指摘する。ARCSモデルは動機づけを高める指針であり、同時に自己効力感としての感動を指摘した教材開発の指標といえる。

現在、ロボットという新規性の高い教材に感動という要素を加え、技術教育を実施することで、効果的なメカトロニクス教育を展開することができる。ARCSモデルと感動の検討ではARは小さな感動、CS自信や達成感に繋がる感動といえる。外観・倒立振子、搭乗・操作、製作・別の課題へ応用といえる。体感と感動という二つの要素を取り入れたメカトロニクス教材、感動の段階、教材製作の指標としてARCSモデルに基づき設計する。

2.4 本章のまとめ

2.4 本章のまとめ

第2章では、ARCSモデルに基づく教材設計により、最適な制御教材になることが分かった。ロボット感動教育および感動体験の意味を確認した。また、様々なロボット教育が展開されている中で、感動を伴う教育が求められていることが、先行研究からも示された。幅広いロボットによる教育の中でも、生徒に対する教材開発と教育手法については研究事例が少ない。体感に関する制御教材は、まだ研究されていない新規性の高い内容であることが分かった。生徒に対する制御教材のあり方として、やはり倒立振子による体感と動機づけは魅力的であり、さらに感動と合わせて活用することで、動機づけを強化できることがわかってきた。本研究と関連研究との比較を表2-2に示す。表の記号○は効果について言及したことを示し、△は取り上げている、×は記述なしを表す。

表 2-2 関連する研究との比較

	関連する研究	①鈴木	②稲守	③琴坂	④佐橋	⑤浅井	⑥戸梶	本研究
観 点	1 ARCSモデル(採用)	○	○	×	×	×	×	○
	2 ARCSモデルと制御教材(適用)	×	○	×	×	×	×	○
	3 ロボット感動教育(工業高校生)	×	×	△	×	×	×	○
	4 倒立振子の動き(直接)	×	×	×	△	×	×	○
	5 制御の体感(実用)	×	×	×	×	△	×	○
	6 感動体験(工学教育)	×	×	×	×	×	△	○

第3章 体感に基づく教材の開発とロボット感動教育

3.1 工業高校における新しいメカトロニクス教育の提案

3.1.1 はじめに

生徒は制御技術の基礎について、中学校における科目「技術・家庭」の重点教育内容として体験してきており、高校ではさらに専門的に理解することが求められている。生徒は、将来ものづくりの現場で活躍することを期待されていることから、一般生活の中で数多く利用されているメカトロニクス、制御の基礎、特にフィードバック制御について、総じて理解しておくことが望まれる。高校で制御技術を効果的に教育できれば、技術立国日本を支える技術者を育成することが可能である。理科離れ、ものづくりに産業の人材不足の解消につながると考えた。

文部科学省新学習指導要領[39]は、平成25年度入学生より実施されている。この中で機械系、電気電子系、情報系学科で制御技術を学習することが位置づけられている。特に、メカトロニクスに関する科目とフィードバック制御・PID制御を教育内容として取り扱う科目は次のとおりである。

共通履修科目では「生産システム技術」、機械系では「電子機械」、「電子機械応用」、電気・電子系では「電力技術」、「電子計測制御」、情報系では「電子計測制御」である。この中で特に詳しく内容を盛り込んでいる科目が「電子計測制御」である。以前の学習指導要領では「電子機械応用」に盛り込まれていた内容であるが、現在は「電子計測制御」へ含めることが示された。電子機械科の標準的な履修科目一覧を表3-1に示す。制御技術を取得するには電子機械科として「電子機械」と「電子計測制御」を履修し、メカトロニクス技術、制御理論を学ぶことである。しかし、単位数4～6単位であり、学科の目標と地域の特性を考慮すると現実的ではない。

現在、電子計測制御を履修する代表的な学科は、電子機械科、電子科、情報技術科に限定されるだろう。しかし、機械系学科の科目表3-2には示されていないこと、電子機械科でもフィードバック制御を応用技術に関する内容ととらえることがあり、履修している学科が少ないと考えられる。ことから、フィードバック制御を理解している生徒は限られていると思われる。制御技術を効果的に学ぶ機会が重要である。特に工学系メカトロニクス学科へ進学する生徒に対しては、メカトロニクス技術への下地作りになるため必要とい

3.1 工業高校における新しいメカトロニクス教育の提案

える．つぎに学習指導要領工業編から科目「電子情報制御」内容，解説例を示す．

表 3-1 科目の新旧対照表（機械系学科）

改定	従前	備考
1 工業技術基礎	1 工業技術基礎	
2 課題研究	2 課題研究	
3 実習	3 実習	
4 製図	4 製図	
5 工業数理基礎	5 工業数理基礎	
6 情報技術基礎	6 情報技術基礎	
7 材料技術基礎	7 材料技術基礎	
8 生産システム技術	8 生産システム技術	
9 工業技術英語	9 工業技術英語	
10 工業管理技術	10 工業管理技術	
11 環境工学基礎		新設
12 機械工作	11 機械工作	
13 機械設計	12 機械設計	
14 原動機	13 原動機	
15 電子機械	14 電子機械	
16 電子機械応用	15 電子機械応用	
17 自動車工学	16 自動車工学	
18 自動車整備	17 自動車整備	

（学習指導要領工業編より電子計測制御について抜粋）

第 24 節 電子計測制御

第 1 目標

電子計測制御に関する知識と技術を習得させ，実際に活用する能力と態度を育てる．

この科目のねらいは，電子計測制御に関する知識と技術を習得させ，コンピュータによる計測制御やネットワーク化された計測制御システムなどを実際に活用する能力と態度を育てることである．

第 2 内容とその取扱い

1 内容の構成および取扱い

3.1 工業高校における新しいメカトロニクス教育の提案

この科目は、(1)電子計測制御の概要、(2)シーケンス制御、(3)フィードバック制御、(4)コンピュータによる制御の基礎の4項目で構成しており、4～6単位程度履修されることを想定して、内容を構成している。また、内容の構成および取扱いに当たっての留意事項は次のように示されている。

(内容の構成および取扱い)

ア 指導に当たっては、計測技術、自動制御技術およびコンピュータ技術を総合的に理解させること。

電子計測制御技術は、計測技術、自動制御技術、コンピュータ技術を総合したシステム技術であり、指導に当たっては、これらを総合的に理解させるようにする。機器や装置などの指導に当たっては、具体的な製品や図面を示し、各種メディア教材などを積極的に活用して視覚的に理解させるよう配慮する。

2 内容（フィードバック制御について抜粋した）

(3) フィードバック制御

ア フィードバック制御の基礎

イ 制御特性

ウ フィードバック制御の利用

(内容の範囲や程度)

ウ内容の(3)については、フィードバック制御の基本的な原理、特性および利用例を扱うこと。

ここでは、フィードバック制御の基礎、制御特性およびフィードバック制御の利用について取り扱い、フィードバック制御に関する知識と技術を習得させることをねらいとしている。

ア フィードバック制御の基礎

ここでは、フィードバック制御の基本的な原理、特性、利用例を取り上げ、フィードバック制御の基本的な考え方、シーケンス制御と対比したフィードバック制御の特徴について理解させる。

3.1 工業高校における新しいメカトロニクス教育の提案

イ 制御特性

ここでは、制御系の伝達関数、ブロック線図、信号の応答、ボード線図、ナイキスト線図および安定判別などを取り上げ、フィードバック制御系および各種要素の応答特性について理解させ、論理的に解析・評価できるようにする。

ウ フィードバック制御の利用

ここでは、プロセス制御、サーボ制御などの代表的なフィードバック制御例を取り上げ、その概要について理解させ、実際に活用できるようにする。

(以下、使用する教科書「電子計測制御」の目次を抜粋したものである)

第3章 フィードバック制御

この章で学ぶこと

- 1 フィードバック制御の基礎
 - 1 フィードバック制御
 - 2 フィードバック制御のシステムの種類
- 2 信号の伝達と伝達関数
 - 1 ブロック線図
 - 2 基本伝達関数
- 3 フィードバック制御システムの応答と安定性
 - 1 時間応答と周波数応答
 - 2 周波数応答と安定性の評価
- 4 フィードバック制御システムの制御装置
 - 1 制御装置の制御動作
- 5 フィードバック制御システムの実例
 - 1 電気カーペットのオンオフ制御
 - 2 サーボモータの速度制御
 - 3 工作機械の加工テーブルの位置制御
 - 4 ラジコン用サーボモータの角度制御
 - 5 倒立二輪形ロボット

3.1 工業高校における新しいメカトロニクス教育の提案

以上を内容としている。教科書「電子計測制御」[40]の内容も充実しており、実験、実習と合わせて効果的に習得させることが重要である。

この座学に加えて、実習を実施することにより、より高い教育効果が得られると考えられる。具体的な実験・実習の内容として考えられるのは、フィードバック制御の基本的な知識をPID制御実験から習得する方法が理解しやすく最適と考える。学科の特徴に合わせて温度制御、位置決め制御、ライントレースロボット、倒立振子ロボットをテーマに単独または組み合わせて活用する。こうした教材整備も充実させる必要がある。

長谷川[9]らの調査では工業高校の制御を学ぶ学科において、フィードバック制御は3割程度しか学習していない実態が報告されている。多くの制御技術が活用されている社会の現状からも、学習の機会を増加させることが望まれる。今後、制御技術の重要性も増し、標準的な内容として捉えなければならない。教材やテーマは各学科の実情に合わせて、展開できることが良いだろう。多くの学校や学科において実習内容に取り上げること、わかりやすく教育することにより制御技術への理解が広がり、一般的にも理科教育、科学技術への理解が深まり理科離れの対策に繋がるだろう。

3.1.2 工業高校における制御教育と実工学

一般的に技術に関する学習順序として、理論を学んだ後に実験を行い理解する順で展開されることもある。工業教育については、原[41]の研究からも実工学として、実験・実習の中で理論と技術技能を同時に教育する方法がとられていることが多い。これは技術・技能の習得と同時に理論を実践的に理解するために効果的な方法といえる。

生徒にとって制御は座学だけではわかりにくい単元である。基礎的な知識であっても、実感が湧きにくいいため、やや理解が難しいと考える。そこで体感に基づく制御体験を通して、制御理論の理解につながる経験を重ねることで制御の意味が理解できるような教材と教育手法が有効と考えた。具体的にはフィードバック制御におけるパラメータの効果を体感することで理解を促進することをねらいとした。この教材として、制御を体感するだけではなく、産業用自動搬送車をイメージできるような実用的な大きさの台車を使い、構造が理解しやすくシンプルなもの、3年間で学んできた知識、技術・技能を活用し製作できる教材である。利点として学んだ知識の活用方法、技術として使用する場面を具体的に示すことで自信につながると考えた。

3.1 工業高校における新しいメカトロニクス教育の提案

生徒を対象にした、高度な技術を習得するための教材として活用し、外観から学習意欲を引き出す要素を備えていること、様々な製品の制御をイメージさせる実用的な要素を併せ持つ教材である。教材は高校生にとってやや難しいやわかりにくいと感じる技術課題に対して、将来に必要な基礎技術を理解する助けとなる要素を含んでいることが重要である。生徒に工業技術のスペシャリストとしてひとり一人に、ものづくりの技術を定着させて伸ばすことや、経済産業省が勧める社会人基礎力[42]に取り上げられている、社会に出ていくために求められる3つの資質・能力を育成できることも重要である。製作という課題に対しては、社会人基礎力に示された「チームで働く力」が必要であり、活用の機会を提供している。身に付けるチームで働く力は次の通りである。

- ①発信力 自分の意見をわかりやすく伝える力
- ②傾聴力 相手の意見を丁寧に聴く力
- ③柔軟性 意見の違いや立場の違いを理解する力
- ④状況把握力 自分と周囲の人々や物事との関係性を理解する力
- ⑤規律性 社会のルールや人との約束を守る力
- ⑥ストレスコントロール力 ストレスの発生源に対応する力

この力を搭乗型移動体の製作により体験することを提案する。外観で、意味のある学習に興味関心を引き出し、体感することで技術の理解に結び付ける。作って完成ではなく、さらに制御理解を引き出すための教材づくり、ものづくりとメカトロニクス教育および制御工学教育手法として実体験から自信や実践力を提供する。即ち、誰もが制御の違いを体感できることに加えて、特に生徒を対象とした教育として、材料からものづくりを行い、実用的なロボットをつくりあげることで、感動を引き出し達成感も提供する。さらに制御する経験を通して、技術に対して動機づけを強めることができると考える。

生徒は「搭乗するロボット教材」を研究し、電子回路、プログラムまでを生徒自身がつくりあげることで総合的なものづくりの理解が深まる。体感に基づく理解を引き出す仕掛けとして搭乗する、外観と動きから人を引き付けることを提供する。そして、制御の効果を体感することで、制御理解を深めるシステムを活用する教育手法を提案する。

3.1 工業高校における新しいメカトロニクス教育の提案

3.1.3 生徒に対するメカトロニクス教育に関する方向性

板生[43]のメカトロニクスシステムの軌跡の解説によれば 1999 年の時点でウェアブルコンピュータによる社会像が提案されている。現在、市販されている様々な製品を見ると多様なユーザに対応することは、メカトロニクス技術により比較的容易に実現できる環境が整ってきた。上記の提案を実現しつつある状況である。

例えば、家電製品、自動車、ロボットスーツに見ることができる。自動車におけるエンジン出力特性に連携した操舵システムやサスペンションに関する調整機能、様々な障害を持ったユーザに対応するため、ロボットスーツを用いた介護医療等も試験的に行われている。やはり機械系技術者として機械要素を組み合わせた機構、さらに機械を動かす制御の意味、その味付けを体感により経験しておくことは、機械の調整・整備、開発現場に従事することになる生徒に有効であろう。電子機械科では、重点的に学習させたい内容である。

3.1.4 先進的なマイコン制御製品とフィードバック制御学習

身のまわりに増えてきた先進的なマイコン制御製品としてロボットスーツ、自動車やモーターサイクル、ペットロボット、倒立振子型移動体、セグウェイなどがある。身に付けて身体機能を補強するロボットスーツ HAL や、日産自動車(株)、ヤマハ発動機(株)の商品に導入されている走行モードによりエンジン出力特性、手ごたえを調整する操舵システム、足回り・乗り心地を調整する機能を提供している。近い将来、マイコン制御により自動走行を可能にする技術など更に研究されている。最新の自動車は複数のマイコンを連携し、走行状況判断、操作、安全、環境に対する機械動作を高いレベルでロボット化している製品といえる。いずれも安全や快適装備、姿勢制御機能は制御技術の上に成立している。

大型モーターサイクルはエンジン出力が大きく、走行には経験が必要とされてきたが、マイコン制御により路面状況、天候を問わず安定した走行を実現している。ハンドルに取り付けられた切替えモードスイッチでエンジン出力特性、前後ブレーキ特性を使い分けることができる。

生徒は将来、人々の生活に貢献するものづくり関連企業で製造に携わる割合が高く、工業教育の中でフィードバック制御の経験や体験をしておくことで、様々なマイコン制御製品が基本的にどのように制御されているのか知ることができる。将来、マイコン制御製品

3.1 工業高校における新しいメカトロニクス教育の提案

を製造する課題に対しても、主体的に取り組む自信と意欲を高めることができる。

本研究では、最近、自動車に用いられるようになった衝突安全機能や、環境に配慮したエコ家電製品を支えている制御技術についても興味関心、学習意欲を高め、楽しく技術を習得するための教材、教育手法について提案した。日本のものづくり技術、高度な機能、付加価値を支えている技術はマイコン制御により実現されていることを考えれば、工業高校においてもマイコン制御および制御技術の基礎としてフィードバック制御学習の機会は必須といえる。

工業教育、メカトロニクス教育に関わる教師あるいは研究者が提案し、明らかにしなければならぬ部分であると考えている。

ロボットスーツHAL[®] 福祉用の各部



図 3-1 サイバーダイン ロボットスーツ HAL (サイバーダイン HP より)

3.1 工業高校における新しいメカトロニクス教育の提案



図 3-2 ヤマハ MT-07 (ヤマハ HP より)



図 3-3 日産 GT-R (日産 HP より)



図 3-4 本田技研 ASIMO (本田技研 HP より)



図 3-5 ソニー AIBO (ソニーHP より)

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

3.2.1 ARCS モデルに基づく教材設計

本研究では魅力的な教材および生徒にとって難しいと感じる制御教材の設計開発に ARCS モデルを適用することを提案する．教材によるメカトロニクス教育の結果として，動機づけを高めると共に知識の活用能力，すなわち実践力，創造性を育成できると考える．このことは中教審答申[44]の中にも指摘されている．卒業後すぐに社会で活躍することを求められる生徒にとってはぜひ身に付けてほしい資質・能力といえる．さらに，制御技術に対する意欲を向上させ，理解を深める契機・動機となるような，感動や達成感を提供することが重要である．魅力的な教材設計の指針としては，ARCS モデルが相応しいと考える．

本研究では，制御理解を促進する方法として，体感による制御の違いを体験する構造を有する教材を提案する．ARCS モデルと体感の2つの要素を効果的に組み合わせることで魅力的なメカトロニクス教育の実現できる．この結果，理科離れの解消，科学技術に対する意識を高めることができる．

第2章で取り上げた鈴木[13][14][15]は，情報技術教育の分野にケラーによって提唱された ARCS モデルを活用する研究を行い，CAI 教材に用いられる要点を検証している．そして稲守[18]はシーケンス制御教材開発に ARCS モデルを指針として採用した．これらの考えを支持する．しかし，生徒を対象にした制御教材に適用した例は見当たらない．当然ながら，感動は主観的なものであり，学習者が科学技術やロボットに興味関心がなければ，著しく効果の低い結果しか得られないであろう．本研究では，機械系学科電子機械科に学ぶ標準的な生徒を中心に進めることにした．

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

3.2.2 ARCS モデルに基づくロボット教材の方略

あらゆる分野の学習に対して様々な教材があるが、教材開発の目的は学習意欲を高めることにある。関連する研究[10][11][13]～[17]からも ARCS モデルは生徒に学習意欲を高める4要因の意味を明確に説明している。すなわち、ロボット教材の持つ学習意欲を高める要因を、ARCS モデルに基づき設計することで、魅力的な教材に仕上げるができることといえる。目的とする学習意欲を高めることに焦点を絞り教材が開発できる。合わせて、完成度を高めるために改良を重ねることも必要である。

筆者は、工業高校において生徒を対象にしたメカトロニクス教育を行う魅力ある教材の指針として、ARCS モデルを参考にして教材を開発した[45][46]。ARCS モデルは、学習に対する動機づけを以下のように大きく4要因に分類したものである。

A (Attention) は「注意 (おもしろそう)」,

R (Relevance) は「関連性 (やりがいがありそう)」,

C (Confidence) は「自信 (やればできそう)」,

S (Satisfaction) は「満足感 (やってよかたな)」

さらに、ARCS モデルに基づく学習意欲に関する研究において、4要因を細分化している。

本研究では、この4つの要因を満たすメカトロニクス教材を生徒自身が製作することで、メカトロニクスに必要な知識と技術・技能を理解、習得しようとするものである。

本研究では、魅力あるロボット教材の設計指針として、ARCS モデルとロボット教材に関する方略および ARCS モデルの関連性を検討し、次のように設計した。ロボットとの関連性および方略を表3-2, 表3-3に示す。ロボット教材と ARCS モデルに対する対応および方略は、関連研究との検証の結果、次のようにした。ARCS モデルの下位の方略は各要因の動機づけの継続と強化を示す例である。

表 3-2 ARCS モデルと移動ロボットの関連性

項 目	移動ロボットとの対応
A注 意	↑ 搭乗可能なロボット → ロボットに乗って遊べそう
R関 連 性	↑ PID制御を体感で理解する
C自 信	↑ PID制御が理解できた → 実践できる
S満 足 感	

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

表 3-3 ARCS モデルに含まれる学習指導方略の主なタイプとロボット教材

カテゴリー	方略のタイプ	感動の具体例	ロボット教材
Attention (注意) おもしろそう	A-1 知覚的喚起	期待の気持ち, わくわくの提供	外観・美観を整え乗れて操れることを示す
	A-2 探求心の喚起	制御を学べば, 楽しそう	学んだ知識を組み合わせると自由に乗り回せる
	A-3 変化性	制御できそうな出来そうなのがわかった	制御のコツを随時助言する
Relevance (関連性) やりがいがありそう	R-1 目的指向性	肯定的な予感・感動を提供	制御を実現できるポイントを確認させる
	R-2 動機との一致	制御を学んでロボットがわかりそう, できそう	制御の味付けについて生徒同士で検討させる
	R-3 親しみ易さ	制御技術が必要だ, 制御が理解できそう	ロボットと過去の教材が同じマイコン制御である
Confidence (自信) やれそうでそう	C-1 学習欲求	体感を活用, 自信の提供	水平にするPID制御を構築する
	C-2 成功の機会	制御が理解できた, 活用できる	P制御, PD制御により乗りやすい味付けにする
	C-3 コントロールの個人化	制御に自信がついた	体感を通して制御の程度を任せる
Satisfaction (満足感) やってよかったな	S-1 自然の結果	自分で倒立振り制御ができた	倒立振り模型・自律移動制御へ応用する
	S-2 肯定的な結果	他のロボットに応用できた, 身についた	ロボットの制御を自由にプログラムさせる
	S-3 公平さ	満足感, 達成感, さらに次の段階へ期待	出来上がりを生徒同士相互評価させる

一般的に, ロボットには物珍しさがあり, 興味を持っている人やロボットに関する技術を積極的に学んでみたいと考えている生徒にとって, 高精度な精密機器, 高度な技術を使った肯定的なイメージが定着している. ロボットまたは特徴の新しさが薄れたときには, 学習の魅力・感動に結び付きにくいと考える. ロボットに対する肯定的な意欲や興味に結び付かない人や, 将来ロボットが一般的なものに定着したとき, 物珍しさを超える, 学習意欲と動機づけを誘発できるようにすることがポイントである. 珍しい, 魅力的であるもの以上に学んでよかった魅力に溢れた, 学びがいのある学習方法として提案するためにも重要である. 普遍的な教材, 学習方法として体感に基づく感動に基づくメカトロニクス教材と教育手法を整備することが重要である.

本研究のポイントは, ロボットに目新しさが薄れたとしても, 効果的で魅力的な学習と教育効果を発揮できるように教材と教育手法を開発し実践することである. 合わせて技術に対する資質・能力の向上を目指す. 求められる資質・能力は経済産業省から社会人基礎力として提示され大学, 企業で実践研究が進められてきた.

3.2.3 ARCS モデルによるロボット教材の動機づけの検討

本研究では、まず、感動により動機づけを強くする契機・動機として、A「注意（おもしろそう）」、R「関連性（やりがいがありそう）」に相当する要素として「ロボット」を教材開発の対象とした。ロボットを使うことによって、R「関連性（やりがいがありそう）」からC「自信（やればできそう）」に発展させる。

特に、生徒が感覚的な理解を深めるためには、制御パラメータの違いを体感できるような仕組みが望ましい。そこで本研究では、ロボットの制御の動きを感覚的につかむことのできる教材およびその利用を提案する。具体的には、ロボットに搭乗できるような構造とすることで、身をもって制御の効果や働きの違いを体感する。このことにより制御に対する基本パラメータである比例制御パラメータ P 、そして偏差を修正する積分制御パラメータ I および応答の速さに関わる微分制御パラメータ D の役割を理解することが容易になると考えられる。すなわち、C「自信」からS「満足感」への達成が期待でき、各制御パラメータのイメージをしっかりと身につけていれば、制御理論の理解も促進されるはずである。以上のことから、本研究では表 3-2、表 3-3 のように ARCS モデルとの対応を意識してロボット教材を開発する流れを提案する。本教材のポイントは学習する者がロボットに乗ることによって制御の仕組みを理解できるような方法を提供することにある。

3.2.4 体感と感動に基づくメカトロニクス教材の設計

3.2.4.1 基本構想

(1) ロボット教材設計のねらい

将来、生徒には力の作用する物体の構造や軸など機械要素を設計できるかが要求され、制御の流れの理解だけではなく、機械的な素養も身につける必要がある。そのためにも、搭乗可能なロボットを課題として製作させることは、きわめて有効であると考えられる。また、他の教材との比較する。生徒に対する学習意欲の向上、感動を高めるためには、搭乗型教材で、製作できることが重要であり、既存の教材、模型、実験装置ではこの要求は満足できない。設計の狙いを次の通りとした。

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

① 設計のねらい

- ・実用的な人が乗れる台車
- ・制御の効果を体感し制御理解を促進する仕組み
- ・倒立振子型ロボットにより学習意欲を高める

② 課題

- ・制御教育，課題研究（作品製作）に活用できること
- ・生徒が学習した技術・技能で製作できること
- ・制御プログラムを構築し，制御の効果を体感できること

③ 期待される教育効果

本教材の生徒に対する教育効果は，将来に亘る学習への意欲を提供することである．

- ・ものづくりに対する自信・満足感
- ・メカトロニクスに対する学習意欲の向上

④ 感動の喚起

本教材の生徒に対する感動の喚起を ARCS モデルに含まれる学習指導方略に基づき教材に投影し対応させることにした．

- | | |
|------------|---------------|
| ・ロボットや倒立振子 | → A おもしろそう |
| ・製作し制御できそう | → R やりがいがありそう |
| ・搭乗型ロボット製作 | → C やればできそう |
| ・倒立振子模型の制御 | → S やってよかったな |

⑤ 感動の測定

妥当な方法として次のものが考えられる．

- ・ 観察 : 表情の変化，行動（製作，調整の様子）
- ・ 生理的な反応 : 心拍や血圧測定

教育であるため，共通の学習状況で授業を展開することが重視される．心拍数や血圧を測定しながら授業することは，現実的に難しく相応しくないと考える．このことから授業中の生徒の表情，行動から判断することにする．

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

(2) 体感と感動に基づくメカトロニクス教材のイメージ図

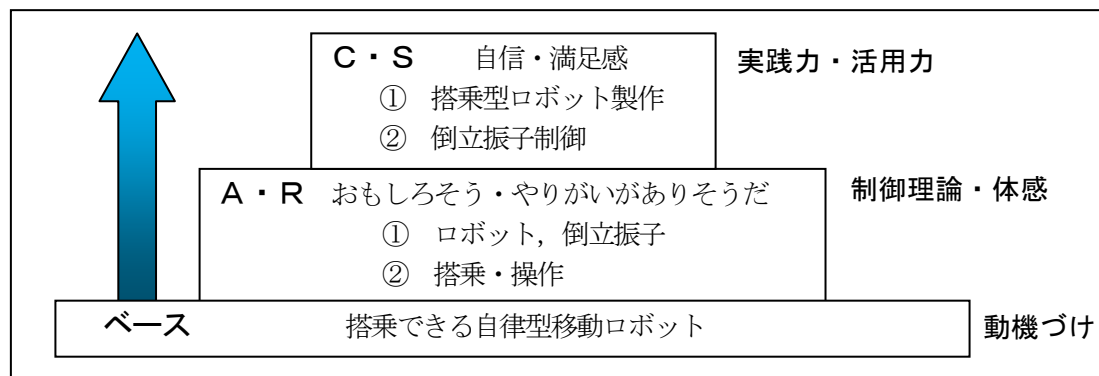


図 3-6 ロボット教材活用イメージ

表 3-4 設計の観点

体感と感動に基づくメカトロニクス教育	設計の観点
① 体感と感動	<ul style="list-style-type: none"> ・ 体感，音，動作（見る），実物（大きさ） 実習用教材全般に適用可能 ・ 感動は喜びを随伴した感動 → 達成・成就など（ポジティブ事象）
② 感動の測定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 感動語（感想に書かれた感動語の数や意味） ・ 行 動（授業中の表情の変化，調整の様子） ・ 教師の支援→理解した結果にふさわしい行動，振る舞いか観察する 感動を肯定する言葉で強化する，同意・共感を生む
③ ARCS モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・ AR 驚きを随伴した感動「凄い」，「素晴らしい」 ・ CS 喜びを随伴した感動「わかった」，「活用方法が身についた」 「応用できた」
④ 評価方法	<ul style="list-style-type: none"> ・ 考察と感想 感動語を含む説明など ・ 制御技術の理解 別の課題への応用，考察で説明できたなど

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

3.2.4.2 ロボット教材の設計手順

(1) ロボット教材の要求仕様の検討

まず、動機づけとしてロボットに搭乗できることをアピールする必要がある。そこで本研究では、セグウェイ[47]のような倒立振子型の移動体を参考とし、図 3-7 のような 2 輪倒立振子型台車を設計した。この外観で特徴的な部分は左右の大きな車輪である。また、試作の段階からロボットの外装に取りかかるのは現実的ではないと考え、セグウェイのように車輪を目立たせるデザインとした（美観の実現）。制御を体感できる構造とするならば、倒立振子の動きを活用するとわかり易いと考えた。そこで「動機・美観」、「搭乗」、「体感」という観点から、図 3-7 のように、上部が平面になるような構成にした（搭乗、体感の実現）。また、構造の理解のためには、なるべくシンプルな構成が望ましい。そこで、ギヤヘッド付きのモータを選定し、ギヤヘッドの出力軸と車輪をハブで固定することにした。これをモジュールとした。なお、本モジュール、バッテリー、制御系の機器はなるべく対称となるように配置するとともに、加工や改良が容易となるようにスチール製のフレーム構造にした。ロボットは 2 輪で倒立する必要があり人間が意識的に傾けることによって、ロボットに操作量を与えられるようにした（操作、体感の実現）。本研究では、ロボットに要求される仕様として以下の提案をする。

- ①動機を誘発するような外観であること（動機・美観）。
- ②搭乗可能な構造であること（搭乗）。
- ③人の意図を反映できる仕組みがあること（操作）。
- ④機械的な構造を理解しやすい機構であること（構造）。
- ⑤制御が体感できるような構造であること（体感）。
- ⑥安全であること（安全）。



図 3-7 ロボット教材試作機

(2) 倒立振子制御の検討

(a) ステップの傾きと偏差

本研究ではセンサに PSD を使用し，その値を操作量に反映させる． PSD， 加速度センサ， 傾斜計を用いることもできる． データ例として左右の PSD と床までの距離を偏差 e とする． PSD の値は電圧であり 0～5V の間で出力される．

例として， 2つのセンサをステップに取り付け床までの距離を検出したとき， センサの差分をグラフ化した． PSD L はステップ左側， PSD R はステップ右側に対して下向きに取り付けたときのデータ例である． 偏差 e は左右の差であり， この値をもとにモータの回転数， 回転方向の制御に使う． 偏差 e がマイナスの場合， モータの回転を逆転させればよい．

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

左右に取り付けた(図 3-15 参照)PSD の値から、この値の差を偏差 e として用いる.

$$\text{偏差 } e = \text{PSD L 値} - \text{PSD R 値}$$

PSD の値は 0~5V を AD 変換し、0~512 として扱う. 図 3-8 の縦軸は PSD の出力, 横軸は PSD の床までの距離を表す.

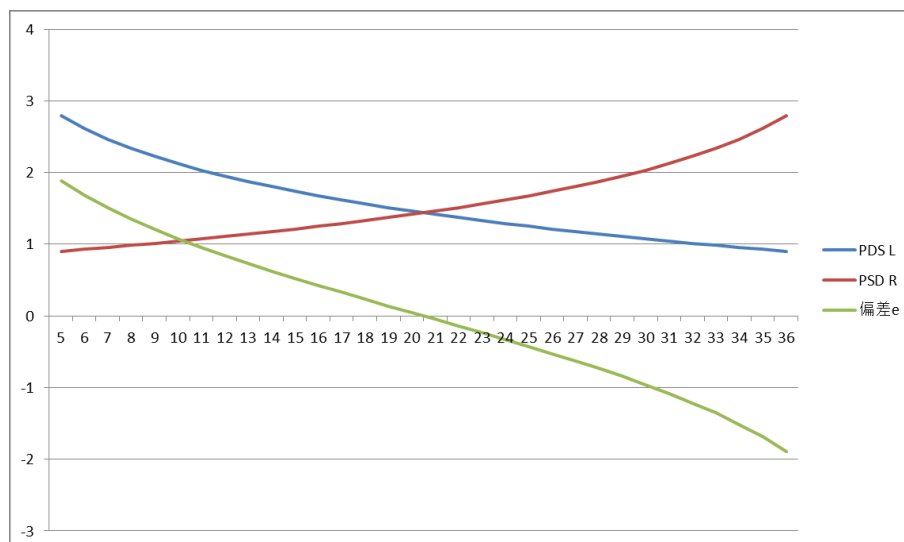


図 3-8 2つの PSD データによる偏差 e のイメージ

(b) センサの検討

センサには入手しやすさ, 価格などを参考にアナログセンサを採用した. PSD の他, 加速度センサ, ジャイロセンサ, 傾斜計を使用することも検討した.

SHARP

GP2Y0A21YK0F

GP2Y0A21YK0F

Distance Measuring Sensor Unit
Measuring distance: 10 to 80 cm
Analog output type



図 3-9 センサの外観（シャープ HP より）

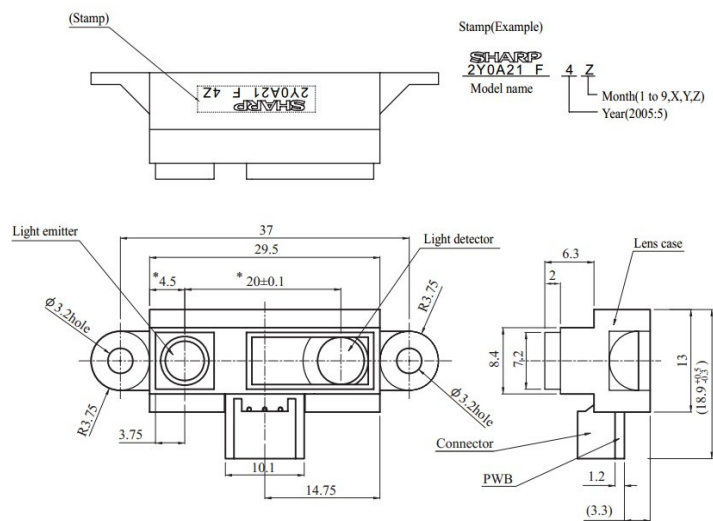
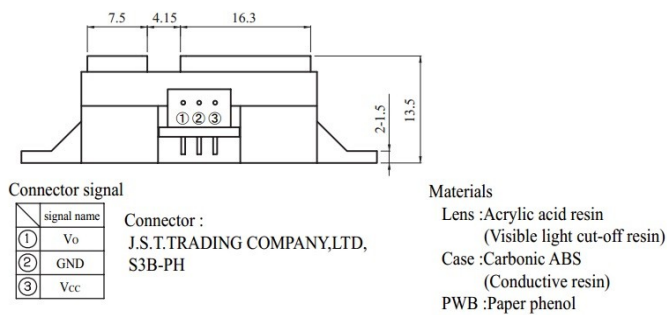


図 3-10 センサ寸法（シャープ HP より）



Note 1. The dimensions marked * are described the dimensions of lens center position.
Note 2. Unspecified tolerances shall be ± 0.3 mm.
Note 3. The dimensions in parenthesis are shown for reference.

図 3-11 センサ信号配置（シャープ HP より）

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

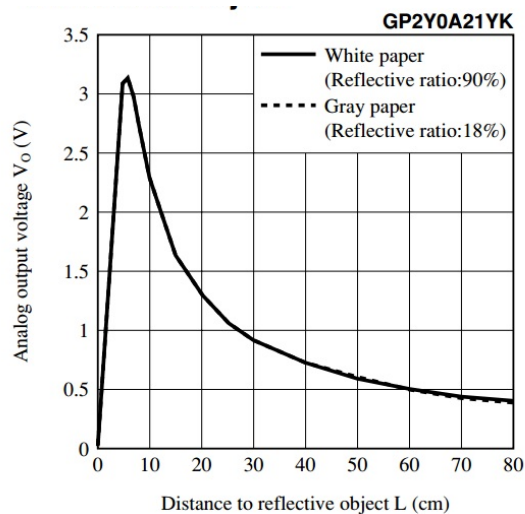


図 3-12 センサ信号と検出距離（シャープ HP より）

(c) コンピュータとモータ制御の検討

生徒が授業で使用しているワンボードマイコン H8 を制御用コンピュータとして使用する。モータ制御はシリアル通信で速度指令コマンドを送信し、モータドライバに指令するタイプと、回転数指令用電圧端子に 0～5V の電圧をモータドライバに加えるタイプがある。本研究では、試作機にはシリアル通信で制御するサーボランド社 Movo2, 生徒が製作した 2 号機には 0～5V の電圧で制御するオリエンタルモータ社 BLVD を採用している。図 3-13, 図 3-14 に外観を示す。

SVEL (DC24V / DC48V)

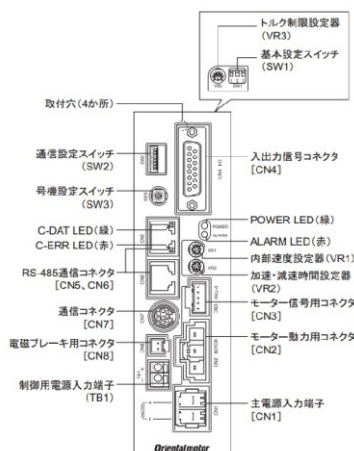


図 3-13 MOV02（サーボランド HP より） 図 3-14 BLVD ドライバ（オリエンタルモータ HP より）

(d) 機械要素の検討

車輪の駆動部には、ベアリングを挿入している。滑らかな回転と制御プログラム通りの動作を実現するためである。JIS 標準品 6007ZZ を使用した。

(e) 制御プログラムの検討

授業で学習した C 言語を使って記述した。制御をきめ細かく行えること、工学系大学でも使われている標準的な言語を使用した。制御プログラム開発には工業高校でも利用率の高い統合開発環境 HEW を使用した。

(3) 評価

センサデータに基づくアクチュエータの動作については、ロボットをテストベンチに搭載して行った。その結果、偏差 e により速度制御、正転、逆転、停止、非常停止の機能を構築できた。体重 60~70kg 程度の人が搭乗した状態で、約 1m/s で移動できることを確認した。

(4) まとめ

搭乗型移動ロボット本体（台車の部分）

- ・動力は DC サーボモータ 120W モータ×2
- ・減速比 1:50, 出力軸回転数 60rpm, 最大速度 1.08m/s
- ・質量 35kg
- ・制御用マイコンに H8 を使用
- ・タイヤは 10inch
- ・電源は DC24V

3.2.4.3 ロボットを構成する装置の設計

(1) 本体の設計

美観を整えるために、ロボットの特徴的な部品として、外観が美しいモータサイクル用のアルミホイールを用いることにした（動機・美観の達成）。そして、直感的に乗りたくなるような印象を与えられるように、橙色に目立たせた楕円形のカラーパネルをロボットの上部に取り付けた（搭乗が可能）。フレームには加工が容易なアングル材を用いた。構造上の安全対策として転倒防止用キャスタを取り付け、転倒の危険傾斜角手前になると非常停止するようにした（安全確保）。ロボット制御の主コントローラとして組み込み用 H8 マイコンを採用し、主コントローラはシリアル通信を介してモータコントローラに速度指令を与えることを可能にした。主コントローラはロボットの左右先端に下向きに取り付けた測距センサで床面の距離を計測し、傾斜の状態を判断しモータを制御できる。また、主コントローラに姿勢を水平に保つような PID 制御プログラムを構築し、外部に設置したスイッチにより PID の各項の制御パラメータを変更、設定できるようにした。パラメータを変化させ体感を外部から調整できる仕組みを付け加えることにした。

生徒が製作できる搭乗型倒立振り子台車とは、3 年間で学んだ技術・技能を活用し、製作可能な教材の意味である。部品製作に関する学習内容を検討した。部品名、学習内容、作業名、加工方法について対応を表 3-5 に示す。

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

表 3-5 部品製作に関する学習内容

部 品 名	学習内容	作 業 名	加 工 方 法	備 考
ハブ	機械要素	旋盤	外径切削, 中繰り, 外爪作業	材料SS400 φ120, t35
		ボール盤	ドリル穴あけ	M5下穴, 長穴加工
		手仕上げ	ねじ切り, キーミぞ加工	M5メネジ, ケガキ, タップ
モータマウント	機械要素	マシニングセンタ	輪郭加工, 穴あけ, ねじ切り	A2017 100×90 t20
		NCプログラミング	図面から加工プログラムへ	CAD/CAM
		段取り作業	工具設置, 工具補正值入力, 試運転	φ20エンドミル, タップサイクル
アングル材	機械要素	ボール盤	ドリル穴あけ	NEXTアングル30×30, 40×40
搭乗用ステップ	機械要素	糸鋸, ジグソー	木工作業	カラーコンパネ1800×900 t12
タイヤ	機械要素	組立作業	タイヤ部品組立(ホイール, チューブ, ナイロンナット, ボルト)	機械工具
ロボット本体	機械要素	組立作業	機械部品組立, 電子部品配置	機械工具
電源・制御配線	電気要素	電源・制御系配線	バッテリー接続, モータドライバ接続, センサ接続, 端子接続圧着作業	圧着工具, 各種電線, コネクタ
信号変換回路	電子要素	半田付け	割付表, 回路図から配線作業	フリー基板, ラッピングワイヤー
制御プログラム	情報要素	プログラミング	プログラム入力, 制御実験, 制御体験, 自律走行実験, デバック体験	マイコンH8-3048, C言語

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

以下に教材の組立図を図 3-15、外観を図 3-16 に示す。

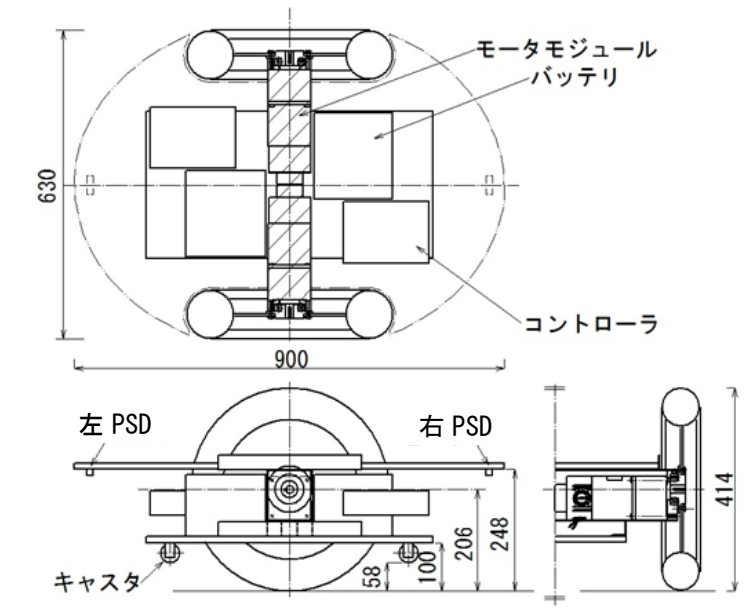


図 3-15 組立図



図 3-16 ロボットの外観

(2) 駆動部

構造設計については、力のかかる片持ち梁の設計を学んでいることを前提に、次のように提案する。車重や体重を受け止める片持ち構造は、省スペースを実現するためにも必要である。本教材の荷重を受けるモータマウントおよびベアリングなど駆動部分の設計例を示す。ポイントは片持ち構造であるがギヤヘッド出力軸に直接荷重をかけない良案を見つけ出せるかである。生徒にはアイディアをスケッチさせるなど、自由に構造を検討させた後、駆動部分を分解し構造を説明することで、設計の重要性を理解させることができる。

ハブ内径をモータのギヤヘッド出力軸よりわずかに大きく中ぐりすることで、曲げ荷重を出力軸に加えない構造にした。本教材では 0.2mm 大きくした。駆動部の図 3-17 のように、タイヤを取り付けるハブは転がり軸受内輪で受ける構造にした。つまり、生徒に実用的な設計を含む例を示し、実践的な設計およびものづくりとは何か、具体的な構造を提供することが教材設計のポイントである。図 3-17 のような片持ち構造とした。

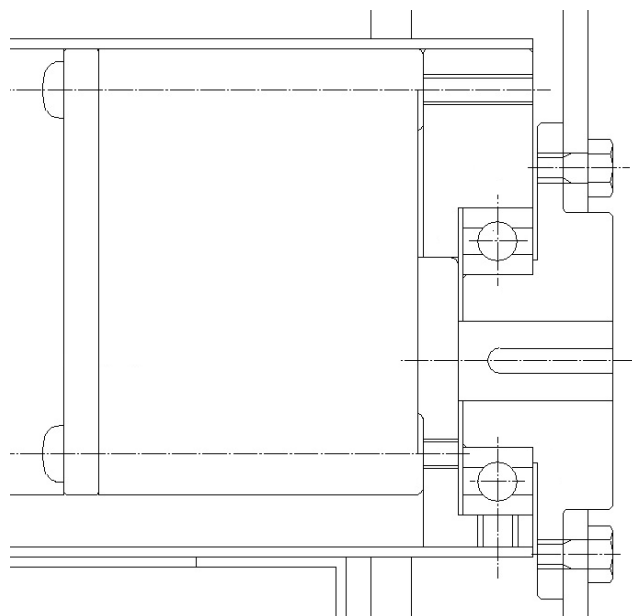


図 3-17 片持ち構造の設計例

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

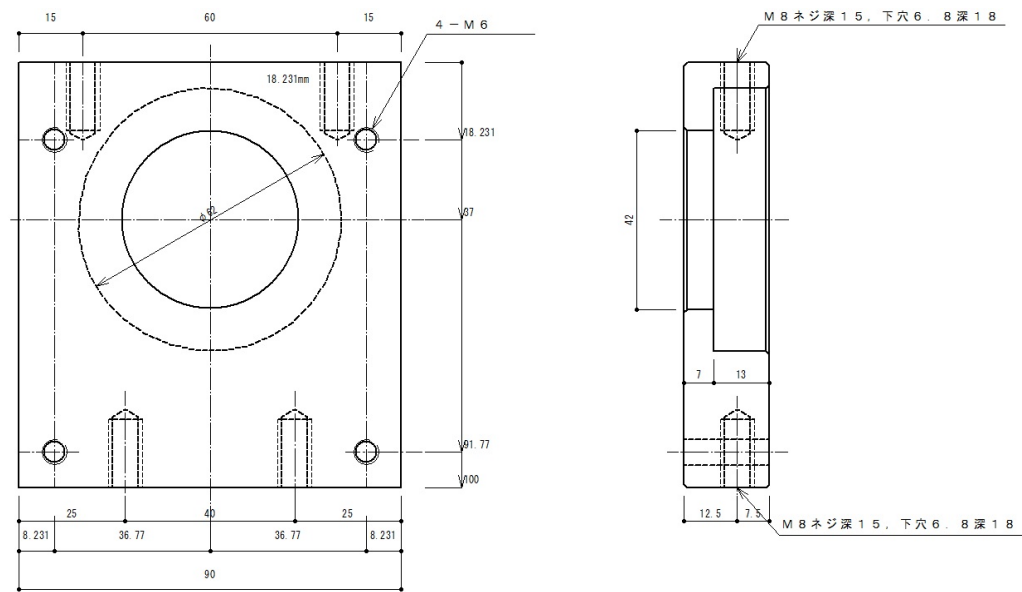


図 3-18 モータマウント製作図例

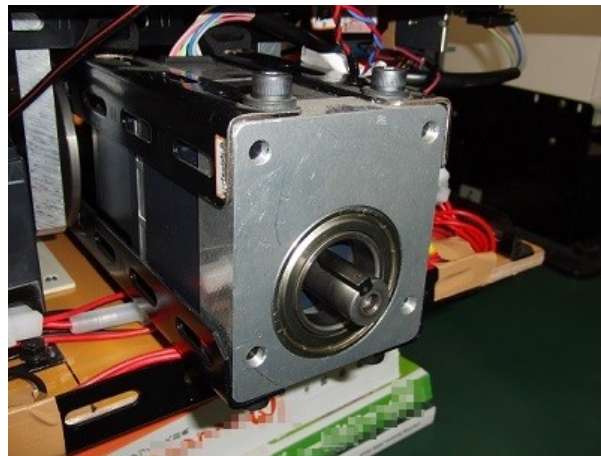


図 3-19 モータマウント

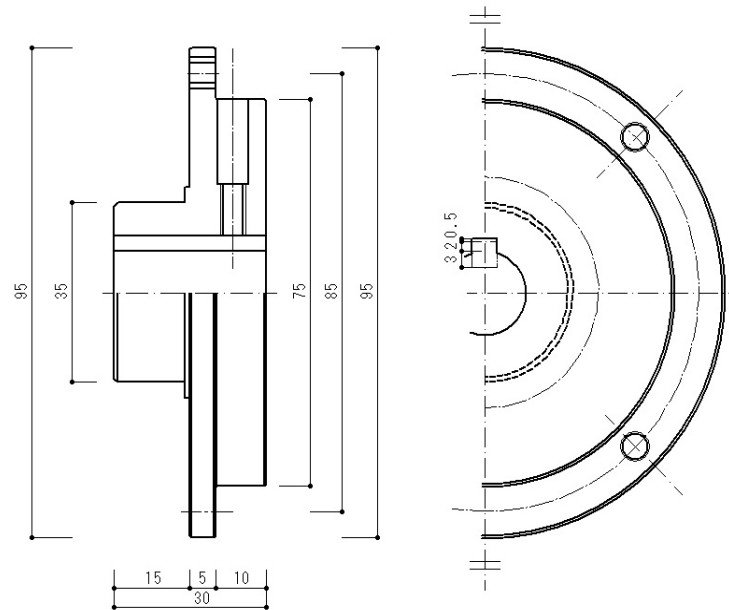


図 3-20 ハブ製作図例



図 3-21 ハブとホイール

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

(3) 制御装置

制御用マイコンには授業で使っている H8 マイコンを選択した。本研究では，秋月電子製マイコンボード AKI-H8-3069 を利用した。H8 マイコンであれば，他のメーカーのボードでもよい。

入出力ポート数は，8 ビット×3 ポート，AD 変換は 8ch 以上，DA 変換は 2ch 以上，シリアル通信ポートは 2 つ以上あること。

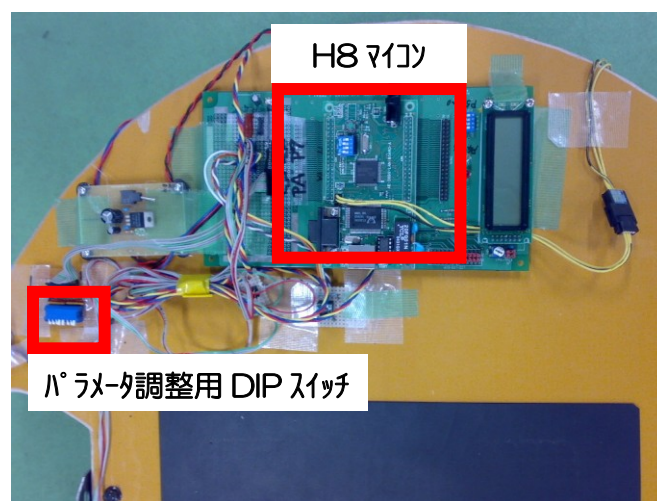


図 3-22 パラメータ調整用 DIP スイッチ（左側）と制御用マイコン（中央）

3.2 ARCS モデルに基づく教材設計とメカトロニクス教育の提案

(4) 制御プログラム

(a) 動作

制御ブロック線図を示す.



図 3-23 倒立振子ロボットの制御ブロック線図

(b) 入出力割付

次の図の通りマイコンの各入出力ポートについて、次の通り割り付けた.

図はコネクタを上から見た図とした.

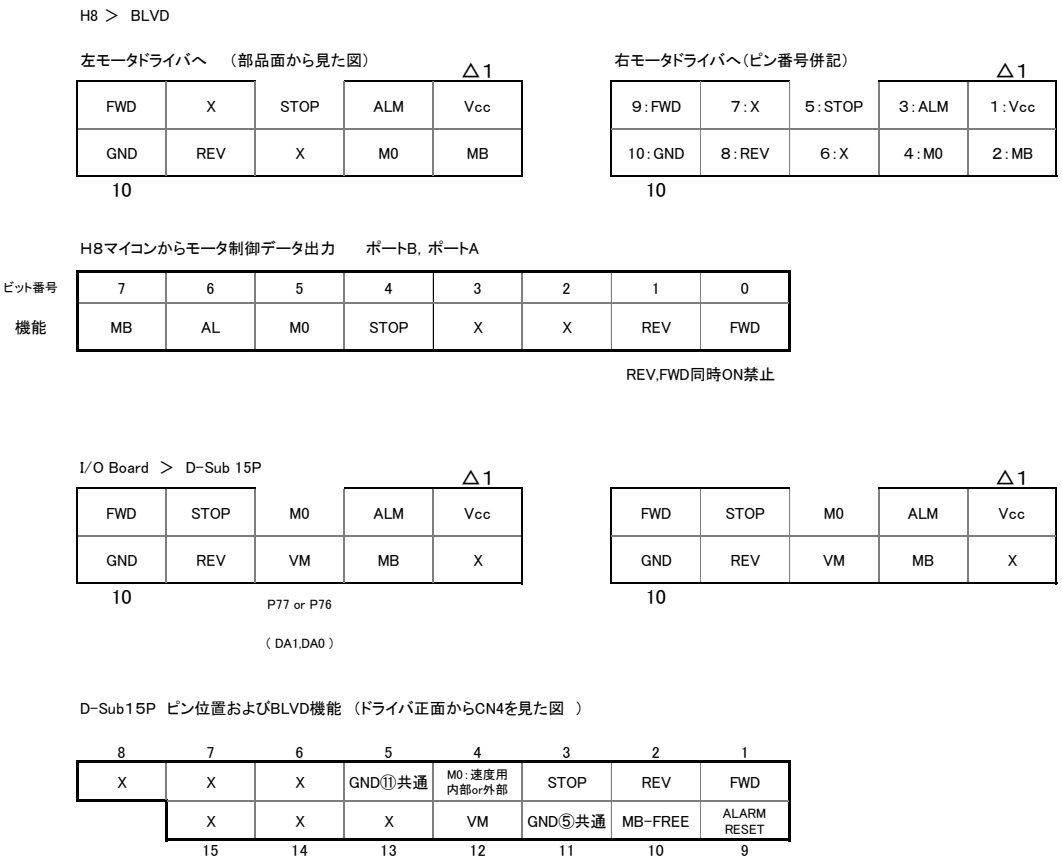


図 3-24 マイコンの割付

(c) 制御フローチャート

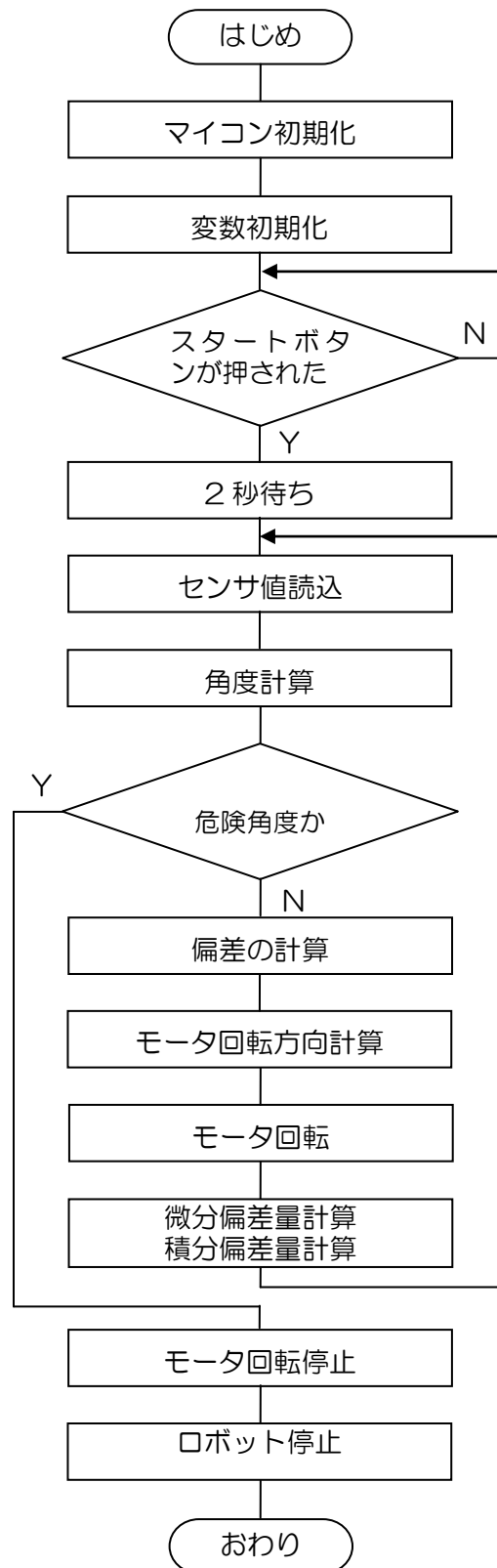


図 3-25 制御のフローチャート

(3) モータに加える回転数の値

```
e = (float)((AD_DRB>>7) - (AD_DRA>>7));    //偏差
ei += e ;                                     //積分項
ed = e - e_f2;                               //微分項
motor_power = kp*e + ki*ei + kd*ed;          //回転数
```

モータに対してはモータドライバに 0 から 255（電圧 0～5V に対応した値）を DA ポートから出力する．またはシリアルポートから回転数をテキストデータで出力する．

制御伝達関数は示さず，プログラムに置き換える実験等を行った．P 制御，PD 制御，PI 制御，PID 制御パラメータを変化させて体感する．実際には PI 制御は搭乗した状態では大変危険なため，教師の搭乗様子を見学させることにする．

3.2.4.4 ロボット教材としての評価

本教材をより効果的なものとするために、実験により生徒に対する教育効果の有無を確認することにした。評価は体感の様子を観察すること、実験後の体感を聞き取ることで行った。まず、実験手順を検討するために、制御について知識を持っている工学部の学生が搭乗して、問題点および改良点に反映させた。なお、工学部の学生には、「外観から受ける印象」、「制御を体感できるか」、「制御の違いを体感できるか」を確認するために以下の順に搭乗してもらった。

- (1)制御なし（自分で水平にバランスをとってもらう）。
- (2)P 制御（制御パラメータの基本動作体験）。
- (3)PD 制御（速応性の高い制御体験）。
- (4)PID 制御（総合的な制御体験）。

搭乗者は宇都宮大学工学部の学生 5 名とし(1)から(4)の順に搭乗してもらい感想を聞いた。その結果、次のような感想が得られた。まず、工学部の学生に、このロボットを見てもらったところ、すべての学生からロボットに乗りたいという感想が得られた。このことから、ARCS モデルにおける「A」→「R」の段階を達成できたといえる。次に制御を体感した感想について、(1)制御なしの場合では、すべての学生が姿勢を維持して立っていることはできなかった。しかし、(2) P 制御および(3)PD 制御の場合では、すべての学生がその場で水平の姿勢を維持することができ、制御を体感できたとの感想が得られた。実験については、制御なし→緩やかな P 制御→反応が速い PD 制御の順に行うと効果的であることがわかった。(4)PID 制御は P 制御,PD 制御に比べて、やや反応が遅くキャストが着いてしまう。PI 制御は制御動作が完了するまでに時間がかかるため、乗りにくいことがわかった。以上のことを評価しメカトロニクス教育に導入できると判断した。次の表 3-6 は評価できた項目と実験による評価が待たれる項目を示す。評価は優れている◎、良い○、評価待ち△を表す。

表 3-6 工学部学生による実験に基づく評価

評 価 項 目	観 点	評 価
乗りたいくなる期待感を高める	動機づけを強めるか	◎
制 御 の 効 果 を 体 感 で き る	生徒が体感できるか	◎
ロボット教材により学習意欲を高める	学習意欲が向上するか	○
生徒が学習した技術・技能で製作できる	生徒が製作できるか	△
制 御 教 育 に 活 用 で き る こ と	授業で活用できるか	△

3.3 体感に基づく教材を用いたロボット感動教育

本教材はロボットに搭乗することにより、制御の効果を体感する構造になる。まず、ロボットに搭乗することで感動を誘発する。「すごい」など、肯定的に感動する様子が確認できれば「A」→「R」の段階の効果を発揮しているといえる。感動したことを判断する基準として正の表現[29][30]、感動語の内、「やった」、「できた」、「うれしい」、「満足した」、「達成感があった」など評価に値する言葉に注目する。感動が表現されたとき評価することにした。このように実習報告書の感想に焦点を当て、感動に結び付く表現を抽出することである。実習報告書の限られた感想や考察の記述から、教育効果の評価を導き出すことを提案する。

琴坂[7]の研究は、ロボットによる教育は遊んでいるだけではないのか、動機づけだけではないかなど、限定的な教育効果が指摘されている。しかし、本教材はPID制御の意味を体感から理解する構造であり、体感を使うことでロボットに関する動機づけ、制御理解を促進させる。したがって動機づけ、学習意欲を体感から誘発される感動に基づき強化できると考える。さらに生徒に製作することを通して、機械的な構造設計を理解させることができる。

別の教育効果として、生徒に技術・技能の大切さを認識させることができる。実際に加工し製作すると工夫が必要であるため、常に実践力、発想の必要性を体験できるようにした。体感に基づくロボット感動教育の核の部分は、製作体験や体感により制御理解を得た達成感から感動に結び付けることである。このことから、生徒は、難しい技術や理論を体感としてイメージをできるようになることや、専門的な言葉を聞いて構造、動作を説明、表現できるようになることを効果として挙げる。

評価は一般的に学習指導要領に基づく観点別評価[48]として行われている。評価の観点は次の通りである。①「関心・意欲・態度」、②「思考・判断・表現」、③「技能」、④「知識・理解」であり、工業に関する専門科目も、この4つの観点で評価することになる。教師が各観点到目標を設定して、生徒が目標を達成できたかを検討して3段階で評価する。評価方法は絶対評価である。評価例として「十分満足と判断されるもの」をA、「おおむね満足であると判断されるもの」をB、「努力を要すると判断されるもの」をCとしている。教育現場では観点別評価と呼ばれている。

本研究では、一般的な観点別評価とは別に、感動の種類、制御理解を捉えるため上記の

3.3 体感に基づく教材を用いたロボット感動教育

ように評価を行い、加えて生徒の感動を表す言葉、感動を表現した記述、評価とすることもできる。感動語から生徒に与えた動機づけや、自信、満足感を提供できたこと、教育効果を発揮したかを確認できる。よって実験後の感想の内容を重視することを提案する。

これだけではなく、生徒を対象にした技術教育の効果を確かめるためには、授業中の調整の様子を評価に含めることもできる。生徒は実験・実習の授業の中で技術習得結果にふさわしい行動を表現している場合が多く、調整作業の過程も評価対象としたい。動機づけできたかに注目して、倒立振子模型を調整する様子から評価することである。

本研究では教材による感動や達成感を、大きく2つの段階で確認することを提案する。1つ目は体感による教材を使った教育導入の時で、2つ目は制御理解を得て、適切な制御効果を説明できた時である。ARCSモデルでいう「AR」そして「CS」、段階は違うがいずれも感動や達成感を得た結果、到達する段階である。このことを見極めることが評価にふさわしいと考えた。

本研究で目的とする教育効果とは、技術・技能、ロボット教育、科学技術に対する学習意欲向上に代表される動機づけを高めることおよび制御理解を引き出すことである。教師、生徒の自己評価、相互評価を行い、感想、考察、行動の観察を通して評価するシステムを提案する。

相応し行動を評価するためには、パフォーマンス評価[49]を活用することもよい。実験中の技術の理解、習得に結び付く行動を評価する。例えば、技術の行動としては、P制御、PI制御の順に調整する様子であり、振動を抑える効果を調整する様子から判断できる。外乱に強い効果を調整するなど、これらの行動の様子から評価する。また授業の最後にミニ成果発表会として倒立振子コンテストを実施するなど、生徒同士が相互評価する機会を用意する。客観的で納得する成果を確認できる方法である。教育効果の確認として、成長の過程を評価するならば、教育段階ごとにパフォーマンス評価を行いポートフォリオ評価[50]としたい。このポートフォリオ評価の結果から生徒も教師も正確に技術習得状況や成長の様子を把握することができるだろう。

さらに、社会人基礎力としての、前に踏み出す力、考え抜く力、チームで働く力を身に付けられるか検討する価値がある。メカトロニクス技術の習得には幅広い様々な知識が必要で、簡単に見極めることはできないだろう。高校から社会人として活躍する10年程度の時間をかけて継続して検証する必要がある。

3.4 教材の持つ感動の検討

3.4 教材の持つ感動の検討

新規性のある教材は良いが、時間が経ち、興味が引き出し辛い場合、学習した結果、理解できた表現として、やった、わかった、できた、など言葉で表される感動が必要である。理解したことを忘れたとしても、体感として得ておけば、感覚として再現することができよう。工業教育の教育効果の狙いとして、実験実習を体験し得た感覚、ものづくりの段取り等のスキルがイメージできるような結果や経験が求められている。そこで体感を通して感性に誘発される感動に結び付けることが本教材の要といえる。

感動は、わかったとき、できたときの喜びから生まれる。この感動を体験できるような教材を作成すること、教材を活用して学習すること、特に難しいと思えることに対して、如何に学ぶか、学ぼうとする意欲を引き出せるかに注目することが大切である。

第2章では、わかったとき、できたときの感動が次の学習に対する意欲の基になることが指摘されており、この考えを支持する。技術、科学技術に対する学習意欲、動機づける基が感動といえる。また、生徒にとってやや難しいと思われる技術を理解できた達成感や満足感、感動につながる経験を、体感を通して得ておくことは、課題解決能力が重視されるものづくり現場に携わる生徒にとっては重要なことである。

実験実習内容の理解と習得する技能レベルの体験から、将来に亘り生徒自身が課題解決に活用できる技術へ向上させることができると言える。

3.4 教材の持つ感動の検討

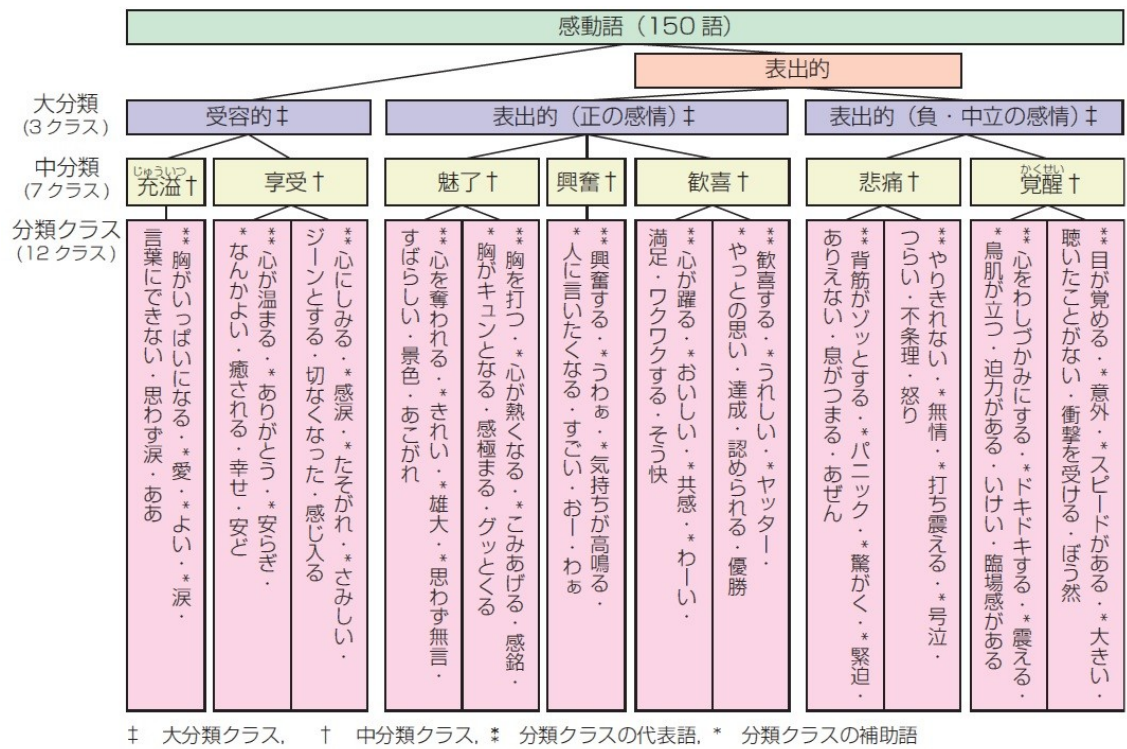


図 3-26 感動語の分類（大出他，NHK 技研，2011）

表 3-7 感動と ARCS モデルの関連の検討

カテゴリー	方略のタイプ	感動の具体例	ロボット教材
Attention (注意) おもしろそう	A-1 知覚的喚起	期待の気持ち，わくわくの提供	外観・美観を整え乗れて操れることを示す
	A-2 探求心の喚起	制御を学べば，楽しそう	学んだ知識を組み合わせると自由に乗り回せる
	A-3 変化性	制御できそうな出来事があった	制御のコツを随時助言する
Relevance (関連性) やりがいがありそう	R-1 目的指向性	肯定的な予感・感動を提供	制御を実現できるポイントを確認させる
	R-2 動機との一致	制御を学んでロボットがわかりそう，できそう	制御の味付けについて生徒同士で検討させる
	R-3 親しみ易さ	制御技術が必要だ，制御が理解できそう	ロボットと過去の教材が同じマイコン制御である
Confidence (自信) やればできそう	C-1 学習欲求	体感を活用，自信の提供	水平にするPID制御を構築する
	C-2 成功の機会	制御が理解できた，活用できる	P制御，PD制御により乗りやすい味付けにする
	C-3 コントロールの個人化	制御に自信がついた	体感を通して制御の程度を任せる
Satisfaction (満足感) やってよかった	S-1 自然の結果	自分でも倒立振り制御ができた	倒立振り模型・自律移動制御へ応用する
	S-2 肯定的な結果	他のロボットに応用できた，身についた	ロボットの制御を自由にプログラムさせる
	S-3 公平さ	満足感，達成感，さらに次の段階へ期待	出来上がりを生徒同士相互評価させる

3.5 体感と感動に基づくロボット感動教育

3.5 体感と感動に基づくロボット感動教育

(1) 基本構想

授業は加工技術を活用する製作に関する授業，制御技術を活用する授業に分けて実施する．基礎知識の習得には，課題に対して，達成目標を小さく設定した技術教育を行う．本研究ではスモールステップ学習と呼ぶことにする．スモールステップ学習と体感により制御理解を引き出す．

①製作に関する授業

科目名：課題研究（作品製作 2 単位） 2 時間×35 週

目的：3 年間で学び習得した知識・技術，技能，情報の中から今までになかった，技術・知識，アイデアの組み合わせ創造性を発揮して製作すること．課題解決に実践力，社会人基礎力を発揮して製作すること．コミュニケーション力，粘り強く考え抜く力を習得すること．

②制御技術を活用する授業

科目名：実習（フィードバック制御 4 単位） 4 時間×5 週

目的：論理的な実験，実習で制御理解を引き出し，活用できる実践力を育成する．40 名の実習に取り入れて倒立振子模型制御に応用する．倒立振子模型の制御できれば理解したことになり，習得した知識・技術を活用できる自信・満足感を得られる．

③評価

- ・評価は感想の感動語から評価する．
- ・調整の様子，行動から評価する．

自分のロボットの制御成果を披露する倒立振子コンテストなど．関心がなかった生徒が体感を通して理解を深め，臨んだ結果，うまく調整できた時の感想など．倒立状態を維持し静止しつづける制御，外乱に強い制御を実現したなど．

- ・将来，別の課題に直面しても，自ら考え課題を解決する素養を身に付けたか．
ロボットを開発したいなど，動機づけを高め，意欲を引き出せたか．

3.6 本章のまとめ

3.6 本章のまとめ

本章では工業高校におけるメカトロニクス教育の現状から効果的な教育方法として、生徒に対するロボット感動教育を提案した。以下に検討した内容、提案をまとめる。

- ・生徒を対象にした高度な技術を習得するための教材は、外観から学習意欲を引き出す要素を備えていること、様々な製品の制御をイメージさせる実用的な要素を併せ持つ教材であること。

- ・機械系技術者として機械要素を組み合わせた機構、さらに機械を動かす制御の意味、制御の効果を体感により経験しておくことは、機械の調整・整備、開発現場に従事することになる生徒に有効である。

- ・ロボット教材の持つ学習意欲を高める要因を、ARCS モデルに基づき設計することで、魅力的な教材に上げることができる。ARCS モデルとロボット教材に関する方略および ARCS モデルの関連性を検討し設計した。

- ・本教材のポイントは学習する者がロボットに乗ることによって制御の仕組みを理解できるような方法を提供することである。

- ・ロボット教材設計のねらい、課題、期待される教育効果、感動の喚起、感動の測定について検討し提案した。

- ・ロボット教材の要求仕様、倒立振り子制御の検討、評価について検討した。

ロボット教材の要求仕様は次の通りとする。

- ①動機を誘発するような外観であること(動機・美観)。
- ②搭乗可能な構造であること(搭乗)。
- ③人の意図を反映できる仕組みがあること(操作)。
- ④機械的な構造を理解しやすい機構であること(構造)。
- ⑤制御が体感できるような構造であること(体感)。
- ⑥安全であること(安全)。

- ・体感に基づく教材を用いたロボット感動教育として、感動語の内、「やった」、「できた」、「うれしい」、「満足した」、「達成感があった」など評価に値する言葉に注目し、実習報告書の限られた感想や考察の記述から、教育効果の評価を導き出すことを提案した。製作することを通して、機械的な構造設計が理解できること、教育効果の確認として、パフォー

3.6 本章のまとめ

マンス評価，ポートフォリオ評価の活用も提案した．

- ・体感と感動に基づくロボット感動教育について検討した結果，授業は加工技術を活用する製作に関する授業，制御技術を活用する授業に分けて実施することを提案した．

第4章 本教材を使った教育効果に関する実験

4.1 課題研究における製作に関する実験

4.1.1 課題研究（作品製作）テーマの検討

課題研究は習得した技術と知識を総合的に活用して作品製作を体験しながら、課題解決の素養を身に付けることが目的となっている。本教材を製作するには、実習および課題研究を充てることが最適であると考えた。特に課題研究では3年間で学んだ知識の活用と有用性を生徒自身が確認することができ、製作により学んだ知識・技術を組み立てて最適な作品を製作する創造性や主体的に技術を活用する態度を身に付けることができる。本研究では課題研究を製作に充てた場合として授業を計画実施している。

学習指導要領には科目課題研究の内容構成および取扱い領域は次の通り示されている。

- ①作品製作
- ②調査・研究・実験
- ③産業現場等における実習
- ④職業資格の取得

以上の4項目で構成される。2～4単位程度履修することを想定している。本研究は作品製作に該当する。作品製作の目的は、「これまでに各科目で習得した知識や技術を活用し、さらに新しい知識と技術を学びながら作品を完成させる。作品製作例としては、原材料を加工し形態を変化させた作品、コンピュータプログラムやシステムの開発、原材料を質的に変化させた製品、デザイン制作や模型製作などが考えられる」と示されている。このことから、本教材は適切なテーマといえる。次に対象、課題、評価について検討した。

- ・対象 電子機械科 3年生
- ・課題 計画立案、旋盤による機械加工、マシニングセンタ作業、ロボットの組み立て。
ロボットに倒立振子制御を構築する。
- ・評価 電子機械に関する知識について、学習状況、技術習得状況を把握し評価する。

4.1 課題研究における製作に関する実験

3年間で学習した内容を活用して、製作課題を解決する能力を育成するため、評価の観点は次の通りとした。各作業の工程を話し合うと共に、生徒が自主的に考える方法をとっている。すべてを指示するのではなく、一緒に作業手順を確認、助言し製作する。

次に授業中の行動と報告書を参考に評価する。以下にロボット製作に関する作業名と学習内容を示す。

- ・旋盤作業：回転数の選択，寸法精度，加工段取りが答えられるか。
- ・マシニングセンタ作業：プログラムの確認，ドライランで確認，工具管理，材料の固定原点位置の設定，加工原点の設定，サイクル動作を利用できるか。
- ・組立作業：班員と協力して作業できたか。コミュニケーション力を発揮できたか。
- ・回路製作：割付表を見て適切なピンへ信号線を配線できるか。半田付け作業，導通チェックができるか。
- ・電源回路製作：工具の扱い方，確実な接続（機械的，電氣的），きれいな配線ができるか。

作業内容は生徒が習得した技術・技能で製作できるようにした。新たに必要なのはやる気，学習意欲である。教材は，ほとんどの工業高校で実施している旋盤，マシニングセンタ作業だけで製作できることを示している。加工方法は製作図から読み取れる程度の知識を必要とし，実習内容のレベルは2年生のレベルに合わせた。

4.1 課題研究における製作に関する実験

4.1.2 実施条件の検討

多くの高校、機械系学科であれば製作できる汎用性を備えている。標準的な生徒であればロボットに興味・関心が低くても製作による「A」→「R」の感動は実現しやすい。

しかし、「C」→「S」は以下に示す内容について授業を受けていることを前提としたい。製作実験の実施条件を検討し表 4-1 のとおりとした。

表 4-1 実施条件

実施条件		
学年	内 容	必須
1年生	マイコン制御（開発環境と入出力の理解）	○
	C言語プログラミング	○
	機械加工（基本作業，外周切削，安全作業）	○
	電子回路（基本回路，センサ特性）	○
	情報技術基礎（情報技術検定3級取得）	○
	ボール盤作業（穴あけ，ねじ切り）	△
	計算技術検定 3 級	△
2年生	旋盤加工（加工精度，測定，手順，外爪作業）	○
	マシニングセンタ加工（Gコード，工具補正，固定サイクル）	○
	マイコン制御（AD変換，PWM制御など制御プログラム）	○
	トレースロボット製作	△
	機械製図（1・2年の内容）	○
	機械設計（応力，モーメント，片持ち梁）	○

○必須 △できれば体験していること

実施条件は，1 年生からマイコン制御，機械加工，電子回路，情報技術基礎について学んでいることが望ましい。関連する知識として情報技術検定，計算技術検定はそれぞれ 3 級以上を取得していること。製作には旋盤加工，マシニングセンタ加工，ボール盤による穴あけ，ねじ切り加工について学んでいることを挙げる。2 年生ではトレースロボットなどのマイコン制御，C 言語プログラミングについて学習していること。機械製図を学んでいることを想定している。

製作は機械系ならば，どの学科の生徒でも製作可能な教材であることが確認できた。

実際の教育現場に想定し検討した。T 県において，工業関係専門高校の中でも進学者が 3 割から 4 割と多い A 高校と就職を中心に中堅技術者を育成する B 高校では，同じ電子機械科であるが教育課程が異なっており，3 年間で学ぶ内容に若干の違いがある。制御実習の

4.1 課題研究における製作に関する実験

内容が違っている。A 高校はマイコン制御を中心としたメカトロニクス，B 高校はシーケンス制御と自動生産ラインを中心としたメカトロニクスを実習している。制御プログラムを構築する点では，前者に教育効果を発揮しやすく，後者に実施条件としてマイコン制御に関する時間を多く確保するなど工夫が必要といえる。マイコン制御については，1 年次に入出力，2 年次にタイマ関数，PWM 制御，AD 変換など機能について学習していることを基本としたい。以上のように，マイコン制御の経験の有無は重要であり，この点ではマイコン制御を実習している電子機械科において効果を期待できる。以下に製作する部品，組立作業例を図 4-1～図 4-12 に示す。



図 4-1 ロボットモジュール駆動部と信号変換ボード



図 4-2 モータモジュールと車輪

4.1 課題研究における製作に関する実験

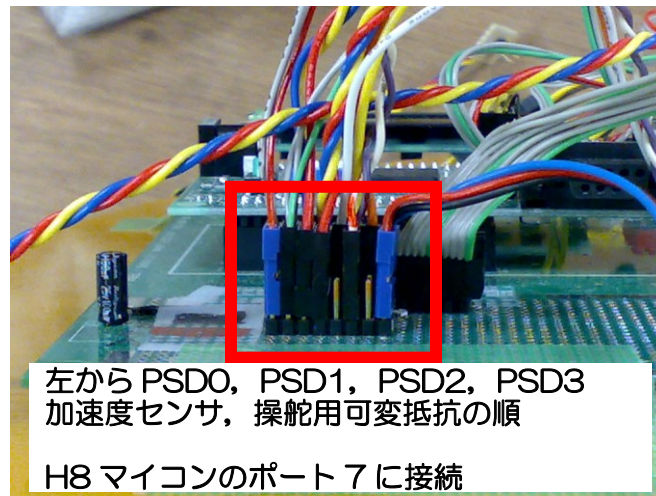


図 4-3 PSD とハンドル信号接続

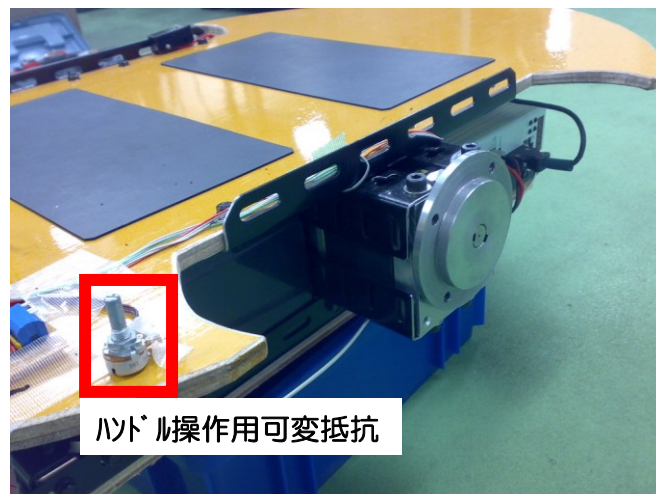


図 4-4 ハンド用ポテンショメータ

4.1 課題研究における製作に関する実験

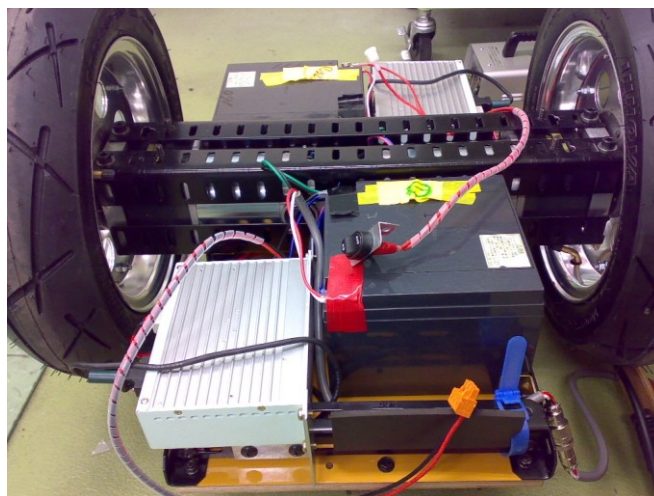


図 4-5 シャーシ組立図

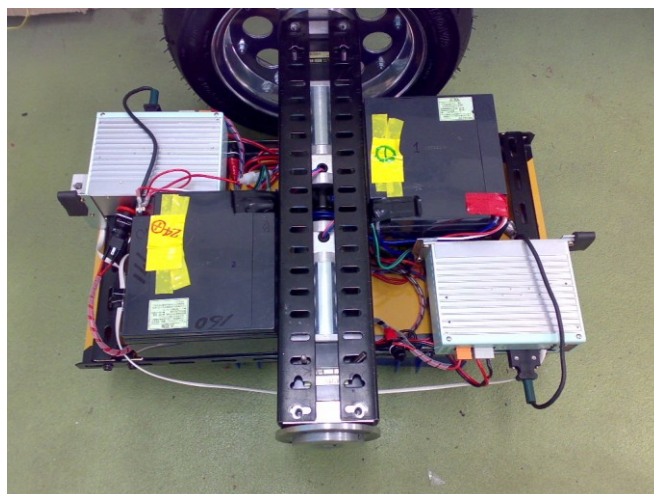


図 4-6 部品配置

4.1 課題研究における製作に関する実験

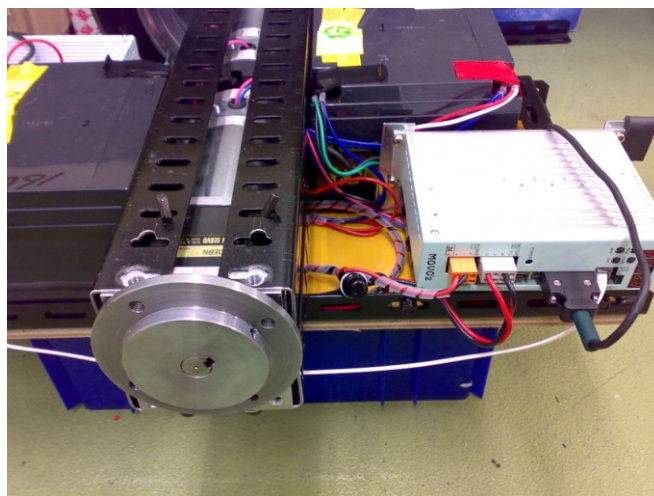


図 4-7 ハブ取り付け

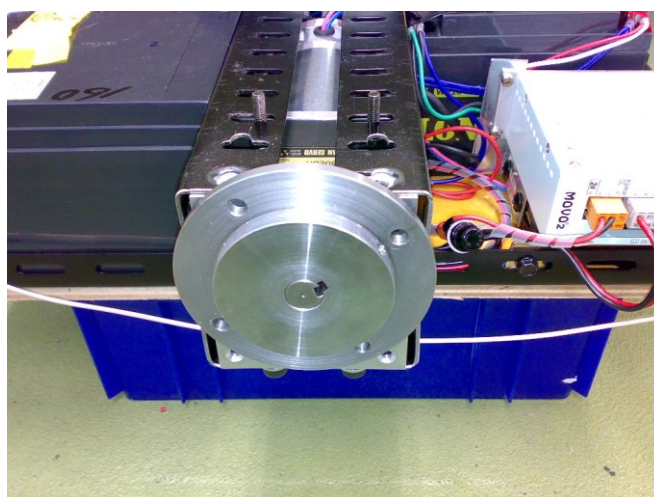


図 4-8 ハブとキー溝加工

4.1 課題研究における製作に関する実験

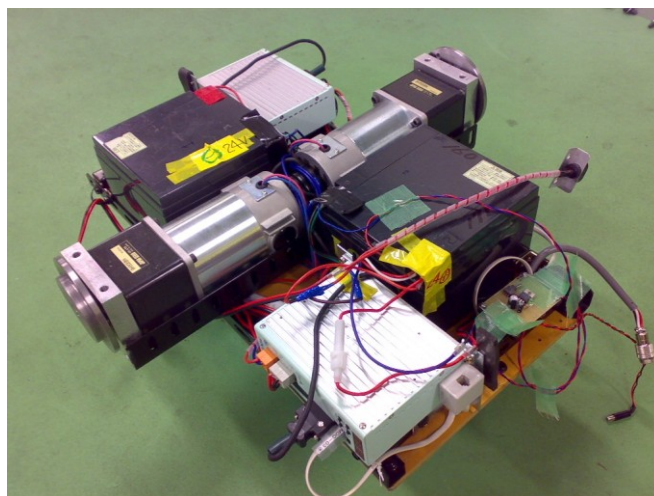


図 4-9 モータモジュールとコントローラ

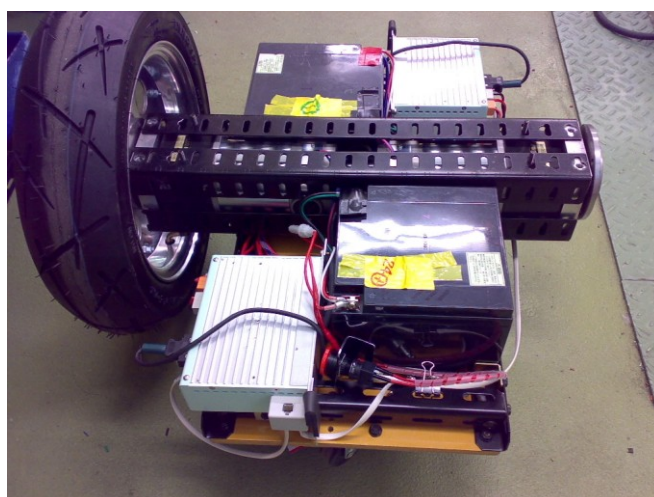


図 4-10 バッテリとコントローラ

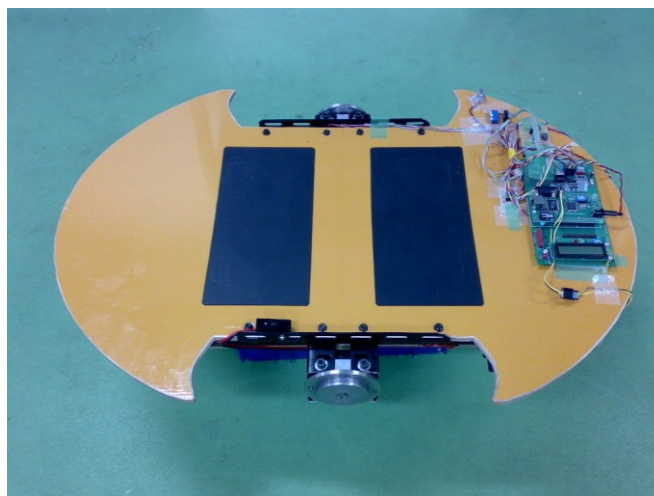


図 4-11 仮組立て後の外観

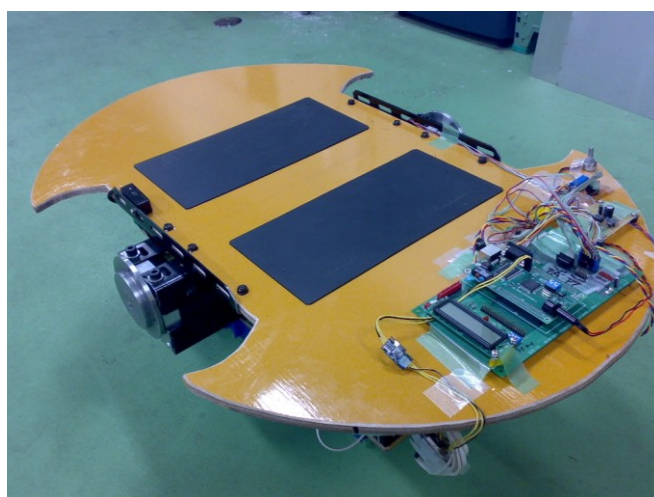


図 4-12 ロボット本体組立外観

4.2 体感に基づく制御実験

4.2 体感に基づく制御実験

4.2.1 工学部以外の学生に対する予備実験

生徒への活用を想定した予備実験として，制御について知識を有していない宇都宮大学工学部以外の学生 1 年生男女 35 名に対して，本教材に搭乗する体感に基づく実験を実施した．

制御について興味・関心を引き出し，制御理解を引き出す感想が得られるかを目的としアンケート調査（平成 20 年 5 月実施）を行った．実験順序は次の通りである．

- (1) 制御なし（自分で水平にバランスをとってもらう）．
- (2) P 制御（制御パラメータの基本動作体験）．
- (3) PD 制御（速応性の高い制御体験）．
- (4) PID 制御（総合的な制御体験）．

4.2.2 実験アンケートの内容

表 4-2 アンケートの内容

該当する番号に○を付けて下さい.

2 あてはまらない 1 全くあてはまらない

①ロボットに興味がありますか。

③ロボットをもっと操作してみたいですか。

④ロボットに乗って、制御を体験しておもしろかったか。

⑤ロボットに乗ることや、操作することは楽しそうですか。

⑥ロボットを作ってみたいですか。

⑦ロボットについて関心を持った部分はどこですか。○で囲んで下さい。

複數回答可

全体，ステップ，プログラム，マイコン，構造，色，タイヤ，ホイール
その他（ ）

⑧制御について、授業（座学、実験・実習）を受けたことがありますか。

1ある

2 ない → 制御について、勉強してみたいですか.

ロボットに乗った感想を聞かせて下さい（自由記述）.

⑨制御について、なにか知っていますか。

⑩制御について、さらに勉強してみたいですか。

⑪PID 制御を知っていますか.

⑫P 制御と PD 制御の違いがわかった.

⑬P 制御と PI 制御の違いがわかった.

⑭PD 制御と PI 制御の違いがわかった.

⑮PD 制御と PID 制御の違いがわかった.

⑩ロボットに乗った感想を聞かせて下さい（自由記述）.

4.2 体感に基づく制御実験

4.2.3 生徒に対する体感に基づく制御実験

A 高校電子機械科では座学（科目名「電子機械応用」3 年生）と実習（科目名「電子機械実習」3 年生）で制御に関する授業を行っている。その中でもフィードバック制御については、平成 19 年度までは DC モータを使ったサーボフィードバック制御、電球温度の PID 制御をテーマに座学 2 時間、実習 18 時間実施していた。しかし生徒には、フィードバック制御および PID 制御はわかりにくいようである。これは電球温度の PID 制御では実感が湧かないと同時に、制御パラメータの強弱など体感が無いことから制御の効果が実感として感じられないためと考えられる。工業高校を卒業する生徒の多くは実社会に出て即戦力として現場での開発を行うことになる。そのためにも、制御とはどういうものかを体験として得ておくことが望ましい。

平成 20 年度より本教材を使った体感に基づく制御実験を行った。授業は一般的な教材として倒立振り子を説明した後に実施した。授業は 3 年生 23 名を対象に、その効果を検証するためアンケート調査（平成 20 年 4 月実施）を行った。アンケートは体験搭乗した後に記入してもらった。アンケート結果を表 5-4、図 5-5 に示す。

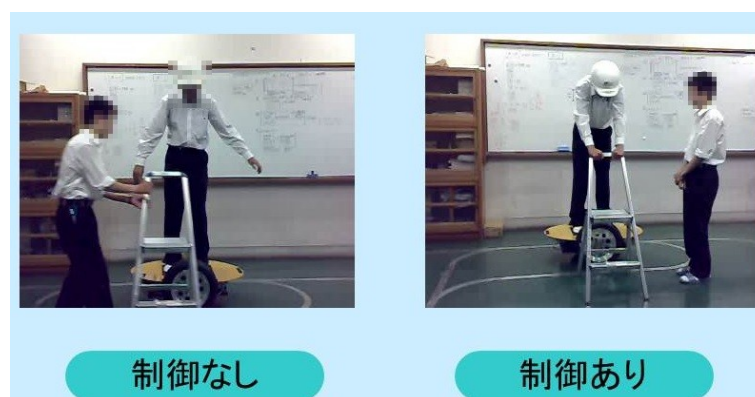


図 4-13 生徒に対する制御実験の様子

4.3 倒立振り子模型を使った制御理解に関する実験

4.3 倒立振り子模型を使った制御理解に関する実験

次の段階として生徒が体感から得た制御パラメータ理解と活用の実態を実験から把握し、教育効果について検証した。

対象は A 高校電子機械科に在籍する平成 23～24 年度 3 年生で、2 年間で合計 80 名である。本教材で体感に基づく搭乗実験の後に倒立振り子模型を使った制御理解に関する実験を実施した。

平成 23 年度から実習内容を見直し、本教材を使った体感実験を導入した。内容を表 4-3 に示す。

平成 22 年度までの実習内容は初めに位置決め制御、次に PID 制御による温度制御を 5 週で実施していた。図 4-14、図 4-15 に示したサーボフィードバック制御装置と自作教材温度制御装置を用いて、フィードバック制御概要、制御の応答、制御のゲイン、偏差の少ない制御パラメータを実験データから求める内容であった。最適な設定を実験から見つけることで PID 制御の基礎知識を習得する。10 名 1 班に分け実習を行う。実習班ごとの検討会で各制御パラメータを 1 つずつ考察して値を求める方法で進めた。

温度制御では 60℃を目標値に PID 制御を実験した。P 制御、PI 制御、PID 制御の順に各パラメータの効果を確認し、適切なパラメータを求めて制御理論を理解する。標準的な生徒および関心が低い生徒は難しいと感じるようで、やや理解を引き出しづらい面があった。

本研究では、教育内容を等しくするため、倒立振り子模型を用いた実験に全員が参加しており対照実験は実施しない。また、実習の最終週には班ごとに成果を披露する倒立振り子コンテストを開催し、生徒同士の相互評価も実施しやすい環境を整備した。

4.3 倒立振り子模型を使った制御理解に関する実験

表 4-3 電子機械科 3 年生に対するフィードバック制御実習内容比較

変更前の内容(平成元年度～平成22年度)	変更後の内容(平成23年度～)
<p>①フィードバック制御基礎 8時間</p> <p>アナログフィードバック制御装置(位置決め制御)</p> <p>島津製作所製</p> <p>PID制御, 慣性力の反応</p> <p>応答特性曲線, 定常偏差, 立ち上がり時間, 時定数, 減衰率</p>	<p>①フィードバック制御基礎 12時間</p> <p>新興技研MM3000 H8マイコン(位置決め制御)</p> <p>・PID制御における各制御パラメータを求める実習.</p> <p>・P制御 比例制御</p> <p>制御パラメータの意味と効果, P制御実験</p>
<p>②電球の表面温度制御 PID制御 12時間</p> <p>ポケコンによる制御 自作教材</p> <p>電球のステップ応答特性, 立ち上がり時間</p> <p>・P制御 比例制御</p> <p>制御パラメータの意味と効果, P制御実験</p> <p>・PI制御 積分制御</p> <p>制御パラメータの意味と効果, PI制御実験</p> <p>・PID制御 微分制御</p> <p>制御パラメータの意味と効果, 外乱要素について, PID制御実験</p>	<p>・PI制御 積分制御</p> <p>制御パラメータの意味と効果, PI制御実験</p> <p>・PID制御 微分制御</p>
	<p>②制御体験実習:搭乗型倒立振り子ロボットによる実験(希望者のみ)</p> <p>・制御なし, P制御, PD制御, 乗り味の体験.</p>
	<p>③卓上型倒立振り子模型制御実験 8時間</p> <p>・PID制御における各制御パラメータを求める実習. H8マイコン</p> <p>・P制御 比例制御</p> <p>制御パラメータの意味と効果, P制御実験</p> <p>・PI制御 比例積分制御</p> <p>制御パラメータの意味と効果, PI制御実験</p> <p>・PID制御 比例微分積分制御</p>
<p>以上の実験を行い, 各制御パラメータの値を決定し, 最適な応答曲線を求める.</p>	

4.3 倒立振り子模型を使った制御理解に関する実験

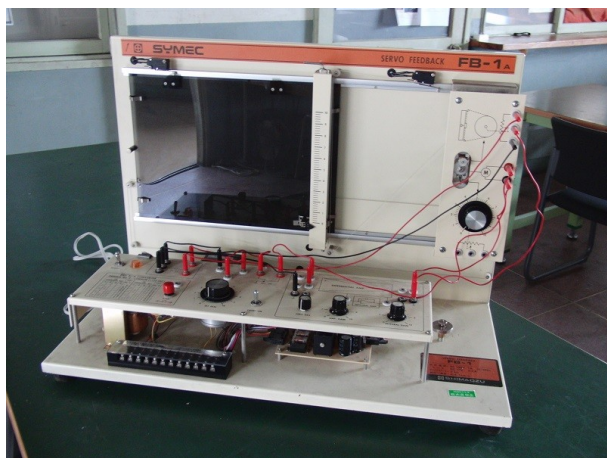


図 4-14 平成 22 年度まで使用したサーボフィードバック装置

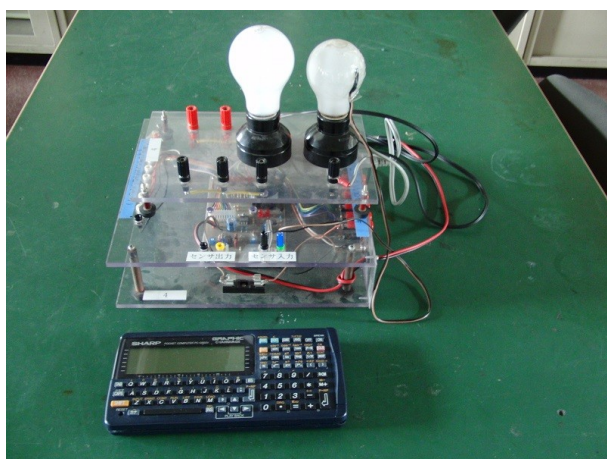


図 4-15 平成 22 年度まで使用した温度制御装置

4.3 倒立振り子模型を使った制御理解に関する実験

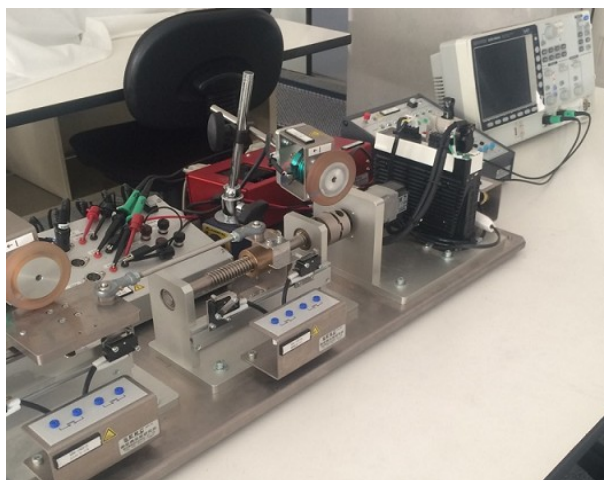


図 4-16 平成 23 年度から使用したフィードバック実習装置



図 4-17 実習の様子

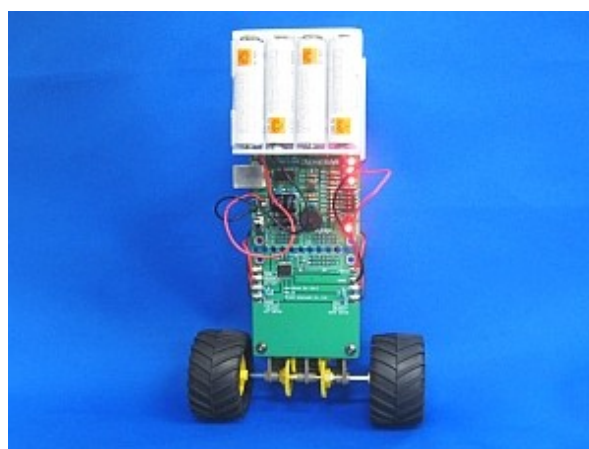


図 4-18 平成 23 年度から使用した倒立振り子制御模型
(日立ドキュメントソリューションズ社 HP より)

4.4 本章のまとめ

4.4 本章のまとめ

本章では，本教材による教育効果を検証するため3つの実験を挙げ，実験の概要，実験手順について述べた．以下に本章のまとめを示す．

- 1 製作に関する実験を行い，制御理解を引き出せたか検証した．
- 2 体感による制御パラメータの効果に関する実験を行い，制御理解に結び付くか検証した．
- 3 制御理解と応用に関する実験を行い，体感から得た知識・技術を倒立振子模型の制御に応用できるか確認した．

以上3つの実験を行い，製作，体感の効果，制御理解で動機づけを高めること，教育効果について検証した．

第5章 本教材のメカトロニクス教育に関する実験結果

5.1 課題研究における製作に関する実験結果

1 年間の課題研究の結果，生徒は本教材を参考に機械加工，電子回路製作，割付表を参考に配線作業に積極的に取り組み図 5-1 のようなロボット教材 2 号機を完成させた．製作（組立）の様子を図 5-2，課題研究の成果として，生徒が製作したロボット 2 号機に搭乗して実験する様子を図 5-3 に示す．主要要素作業ごとに担当，作業内容，結果を示す．○は良好，△は教師の支援あり．

- | | |
|-----------|-----------------------------------|
| ① 機械加工関係 | 全員 |
| ・マシニングセンタ | 段取り○，プログラミング○，工具補正○ |
| ・旋盤 | 外爪加工○，中ぐり加工○ |
| ・その他 | タイヤ組立○，L アングル加工○ |
| ② 電子回路関係 | 電子回路担当 2 名（電子回路製作経験者） |
| ・電子回路 | 入出力基板の配線○，センサ取付○，電源回路○，
リレー回路○ |
| ③ 制御プログラム | A 君（マイコンカー製作経験者）を中心に全員が挑戦 |
| ・開発環境 | インストール○，ビルド操作○，バグ修正△ |
| ・プログラム | PID 制御構築△ |

5.1 課題研究における製作に関する実験結果

その他として、制御プログラムは、作品で確認しながら調整する必要がある、ロボットを使ったマイコン制御の経験がない生徒では難しいことがわかった。マイコンカー製作を経験した生徒であれば、制御プログラムを構築できることがわかった。

組立作業後は、生徒はそれぞれプログラム調整作業に粘り強く取り組み、制御の仕組みとプログラム構築について実習を進めることができた。生徒は搭乗のたびに制御パラメータによる応答の違いを体感し、直感的・体感的にも制御の理解を深めることができたといえる。その結果、倒立振子制御に用いる PID 制御を構築できた。

課題研究ロボット製作班の実験結果から、話し合いにより生徒同士の協力やそれぞれの特性に合わせた課題解決に着手できた。また、問題に解決策が見いだせない場合、調査や質問を主体的に行っている様子を確認した。

電球温度の PID 制御を行った生徒に対してロボットに搭乗した感想を聞いた。生徒からは肯定的な感想を得ることができた。「電球温度の制御よりも PID 制御パラメータの違いがよくわかった」など肯定的な感想を得た。多様な興味関心を持ち、幅広い学力レベルの生徒で構成されていたが、製作に対する反応は良好であり、高い割合で肯定的な感想を得ることができた。

課題研究の考察、感想について 6 名の生徒に対して自由記述形式で調査し回答を得た。本教材の制御プログラムを参考に比例制御パラメータ P、応答の速さに関わる微分制御パラメータ D、偏差を修正する積分制御パラメータ I の作用について調整作業を進めた結果、「はっきりとわかった」、「理解できた」等の制御の理解について肯定的な考察、感想を得ることができた。6 名の生徒について、ARCS モデルの「C」自信と「S」満足感を達成できたといえる。



図 5-1 本教材（左奥）と 2 号機（右手前）

5.1 課題研究における製作に関する実験結果



図 5-2 課題研究ロボット製作の様子



図 5-3 課題研究におけるロボット実験の様子

5.2 体感に基づく制御実験結果

5.2 体感に基づく制御実験結果

5.2.1 工学部以外の学生に対する予備実験結果

生徒に対する授業へ活用する予備実験として、宇都宮大学工学部以外の学生 1 年生男女 35 名に、体感に基づく実験を実施した。

アンケート内容①から⑦まではすべての実験対象者、⑧から⑮は生徒に調査した。選択肢はすべて同じものを用意した。実験対象者に選択肢の番号に○をつけてもらい、平均値を計算した。アンケート結果は表 5-1、表 5-2、表 5-3、図 5-4 の通りである。

まず①の質問「ロボットに興味がありますか」については、25 名、約 70%の学生が肯定的に回答している。工学部以外の学生にも動機づけができており、興味を誘発している。②の質問「搭乗後に興味が高くなりましたか」に対して肯定的な回答が 30 名、86%となっており、乗る前に比べて 5 名、約 16%増の学生が肯定的に回答した。良くあてはまると回答した学生の数が増加した点にも注目したい。どちらでもないと回答していた学生が、肯定的な回答をしたことがわかる。さらに③の質問「ロボットを作ってみたいですか」に対して肯定的な回答が 14 名、40%に達している。この結果から本教材が工学に興味を持たなかった学生に、ロボットや制御に対して強く動機づけできたことを示している。

学生の感想から「起動前は足場を水平に保てなかったが、起動してからはコントロールが容易になったのがわかった」、「意外に面白かった。もう少しやってみたいと思ったし、ロボットにも興味を持てた」などロボットに興味・関心を引き出せたと同時に、制御の理解に結びつくような意見を得ることができた。本教材が制御を体感することで感動を誘発し、制御理解を深められることを強く示していると考えられる。このように工学部以外の学生に対して実験を行った結果、ロボットや制御に関して興味関心、学習意欲を引き出すことができることがわかった。

5.2 体感に基づく制御実験結果

体感に関する実験アンケート集計結果

①工学部以外の学生（回答人数）

表 5-1 工学部以外の学生

平成 20 年 5 月調査

工学部以外の学生	合計		◎	○	△	▼	×
ロボットに興味がありますか	①	5	20	8	2	0	
ロボットに乗った後のロボットに対する興味・関心について乗る前と比べて高くなりましたか	②	8	22	3	1	1	
ロボットをもっと操作してみたいか	③	8	20	5	2	0	
ロボットに乗って、制御を体験しておもしろかったか	④	22	12	1	0	0	
ロボットに乗ることや、操作することは楽しそうか	⑤	17	16	0	2	0	
ロボットを作ってみたいですか	⑥	7	7	11	7	3	

表 5-2 工学部以外の学生内訳①（男子学生 20 名）

男子学生		◎	○	△	▼	×
ロボットに興味がありますか	①	3	13	3	1	0
ロボットに乗った後のロボットに対する興味・関心について、乗る前と比べて高くなりましたか	②	6	11	2	1	0
ロボットをもっと操作してみたいですか	③	4	13	1	2	0
ロボットに乗って、制御を体験した感想（おもしろかった）	④	11	8	1	0	0
ロボットに乗ることや、操作することは楽しそうですか	⑤	10	9	0	1	0
ロボットを作ってみたいですか	⑥	3	4	5	5	3

表 5-3 工学部以外の学生内訳②（女子学生 15 名）

女子学生		◎	○	△	▼	×
ロボットに興味がありますか	①	2	7	5	1	0
ロボットに乗った後のロボットに対する興味・関心について、乗る前と比べて高くなりましたか	②	2	11	1	0	1
ロボットをもっと操作してみたいですか	③	4	7	4	0	0
ロボットに乗って、制御を体験した感想（おもしろかった）	④	11	4	0	0	0
ロボットに乗ることや、操作することは楽しそうですか	⑤	7	7	0	0	0
ロボットを作ってみたいですか	⑥	4	3	4	2	0

記述による回答は除く。

生徒については全員が授業を受けているため、⑧～⑮は省略する。

回答数には、回答なしの数は含めず集計した。

5.2 体感に基づく制御実験結果

②工学部以外の学生（回答割合）

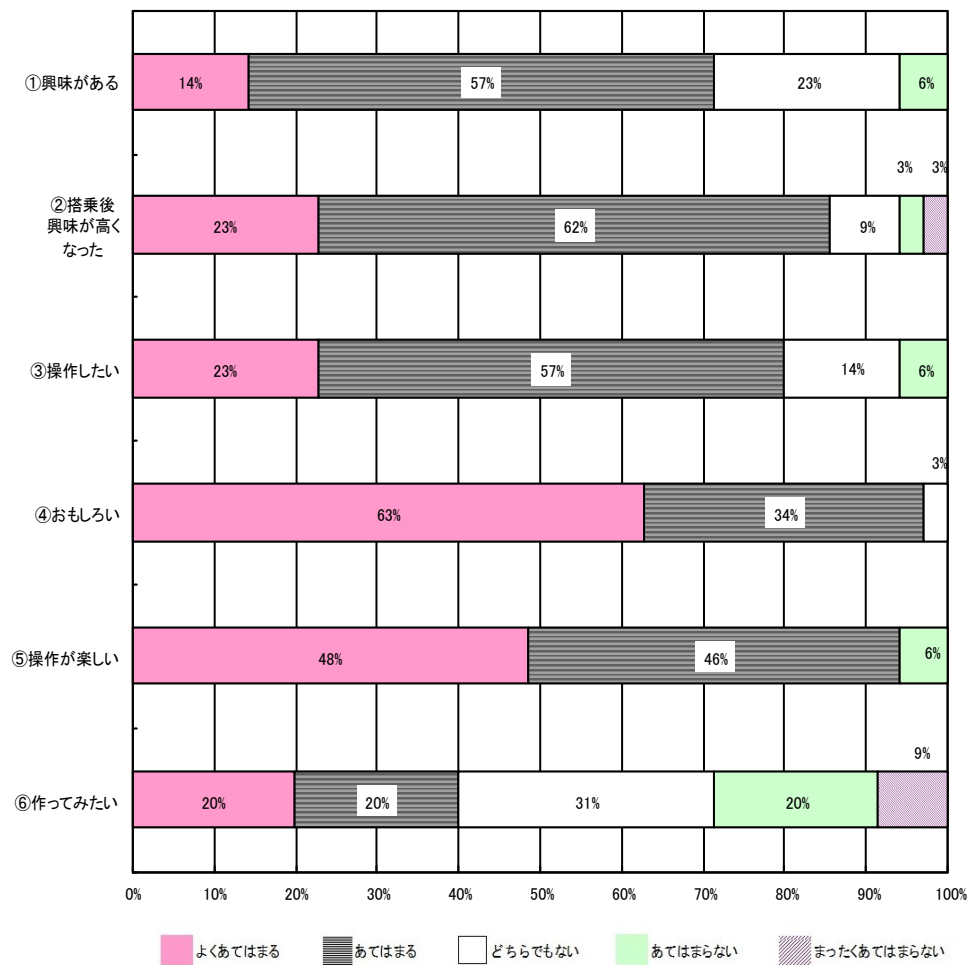


図 5-4 予備実験アンケート結果（工学部以外の学生）

5.2 体感に基づく制御実験結果

③生徒（回答人数）

表 5-4 生徒 23 名 平成 20 年 4 月実施

工業高校の生徒		◎	○	△	▼	×
ロボットに興味がありますか	①	6	11	6	0	0
ロボットに乗った後のロボットに対する興味・関心について乗る前と比べて高くなりましたか	②	6	13	4	0	0
ロボットをもっと操作してみたいか	③	7	12	3	1	0
ロボットに乗って、制御を体験しておもしろかったか	④	9	9	5	0	0
ロボットに乗ることや、操作することは楽しそうか	⑤	9	12	1	1	0
ロボットを作ってみたいですか	⑥	10	10	3	0	0

④生徒（回答割合）

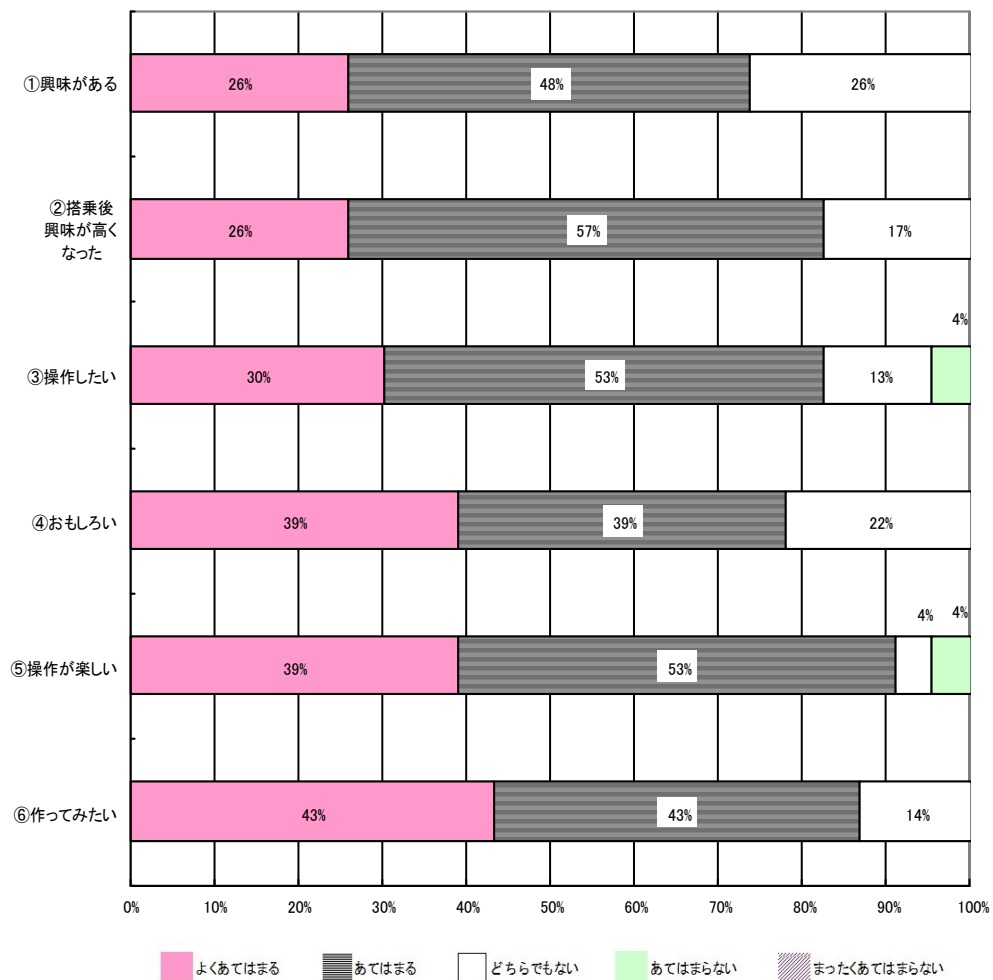


図 5-5 アンケート結果（工業高校の生徒）

5.2 体感に基づく制御実験結果

⑤加重平均結果について

ロボット教材に関するアンケート結果から各質問項目の回答平均値を表 5-5、比較を図 5-6 に示す。回答選択肢を 1～5 の数値で表し、数値が大きいほど肯定的意見を示す。

例： 5 よくあてはまる 4 あてはまる 3 どちらでもない
2 あてはまらない 1 全くあてはまらない

表 5-5 工学部以外の学生および生徒の平均値

質問項目	工学部以外の学生			高 校 生
	学生合計	男子学生	女子学生	
①	3.8	3.9	3.7	4.0
②	4.0	4.1	3.9	4.1
③	4.0	4.0	4.0	4.1
④	4.6	4.5	4.7	4.2
⑤	4.4	4.4	4.5	4.3
⑥	3.2	3.0	3.7	4.3



図 5-6 回答平均値の比較

5.2 体感に基づく制御実験結果

5.2.2 生徒に対する体感に基づく制御実験結果

対象は A 高校電子機械科，平成 20 年 5 月 3 年生 23 名，就職コースを選択した生徒を対象に調査した．実験の結果，狙い通り効果的であることが確認できた．主な結果は次の通りである．まずロボットに興味があるか質問した．17 名，約 74%の生徒が興味・関心を示している．次に搭乗後に興味が高くなったかには，19 名，約 82%の生徒が肯定している．ロボットに乗って，制御を体験しておもしろかったかについては，ロボットに搭乗することへの感動と体感に対する率直な感想を表しているといえる．18 名，約 78%の生徒が肯定している．操作に対する質問には，19 名，約 82%の生徒がもっと操作したいと答えており，学習への期待を表す結果といえる．

ロボットを作ってみたいかの質問には，20 名，約 86%の生徒が肯定している．本研究の目的であるメカトロニクスへの興味・関心を引き出せたことを示している．そして「ロボットに乗れて，ロボットがバランスを保ち水平に制御するのは凄い」など感動に結びつく感想を得ることができた．このことは生徒自らが製作できそうな構造であること，ロボット教材に人を乗せてバランスを保つ制御の体感に感動が得られた結果である．生徒にとって学んできた知識，技術で「作れそう」，「制御できそう」を感じさせる構造の教材に感動しているといえる．このことは生徒の興味・関心を引き出すと同時に，積極的に取り組む学習意欲向上に結びつくと考えられる．ほとんどの生徒からロボットに乗りたいという感想が得られた．このことから，ARCS モデルにおける「A」→「R」の段階を達成できたといえる．さらに，操作の楽しさから，作ってみたい意欲が高まり，次の段階「CS」への期待を表している．この時点でも，学びたいから「CS」の段階の成果である理解できたこと，自信がもてそうな予感を誘発している．

次に工学部以外の学生と生徒のアンケート結果を比較検討する．図 5-4，図 5-5 のグラフから，肯定的な回答はどちらも同じ傾向がみられた．大きく違いがみられるのは，生徒の方が作ってみたいという回答が多い部分である．これは，生徒が教材に搭乗し操作することから発展し，制御理論を含めてメカトロニクス技術を自ら習得したいという意欲の表れである．応用へのステップアップに関する意欲である．この結果は，工業高校への進学を希望した時点で，工学部以外の学生と比較して，ものづくりに対する関心・素養が高く，本教材により学習に対する意欲を ARCS モデルにおける「C」および「S」へと発展させる下地作りがなされたといえる．

5.2 体感に基づく制御実験結果

また、元々ものづくりに対する興味がそれほど高くないと考えられる工学部以外の学生も、作ってみたい以外の回答の傾向は同様であるため、ARCS モデルにおける「A」→「R」の段階は達成できている。このことから制御に関する授業を受けた経験がない場合でも制御を体感することにより動機づけできたといえる。したがって、本教材は学習の導入段階として「ものから入る教育」の効果は非常に高く、制御理論を体感により理解させることが可能といえる。加えて、自ら作ってみたいといった知識を活用・応用させる意欲を引き出すことができる。このことから、最終的に体感に基づき理解した制御理論をものづくりとして実践させることで生きた知識として、生徒に制御理論を理解させることが十分可能であると考ええる。

本教材は倒立振子上に搭乗し、水平に保たれた安定した状態から、敢えて傾けた状態（不安定な状態）にすることで移動する。ロボットを自由自在に乗りこなすには、制御の仕組みを理解しかつ体感することが重要になる。実験を通して数名の生徒は安定した姿勢で搭乗することができた。また制御について ARCS モデルにおける関連性（やりがいがありそう）「R」から自信（やればできそう）「C」あるいは満足感（やってよかった）「S」への発展については、制御の仕組みを理解していることが前提になる。

(1) 生徒の本教材による体感の制御実験の感想

① A 君

今回の実習で乗った倒立振子ロボット教材は稼働していないとバランスを取るのが難しかったです。稼働しているときはリラックスして、機械に体を預けるようにすれば簡単にできました。後半の設定は、前半の設定よりも反応が良く、自分にとっては後半の方が難しいと思いました。

② B 君

先生の作った倒立振子ロボット教材に乗って、D ゲインについて今までよりも、詳しく知ることができた。あのようなロボットを自分一人でも作れるようになりたい。次の実習でももっと詳しく学んでいきたい。

③ C 君

倒立振子ロボット教材に乗ってみて、P 制御と PD 制御の違いがよくわかった。P 制御

5.2 体感に基づく制御実験結果

のときは反応スピードが遅く，自分で重心を取ろうとしてしまって，乗るのが難しかった．PD 制御のときは反応スピードが速く，とても安定して乗り易かった．止まっている時より動いている時の方が安定して動いていた．また，機会があったら乗ってみたいと思った．

④ D 君

P 制御のとき，I ゲインと D ゲインがないため，制御をした後の修正を行わない．そのために倒立振子ロボット教材の制御のときは，少々危険である．それに比べて PD 制御は水平か調べるときに，2 つのセンサ値を引き算して 0 になったことで判断し水平を保つことなどもでき非常に安定している制御である．

⑤ E 君

今回は PID の値をそれぞれ変えて，それぞれの性質を調べました．P ゲインを大きくにすれば発散してしまうことや D ゲインを変えれば修正が大きくなることがわかりました．また，フィードバックを利用した倒立振子ロボット教材に乗った時は，進むだけなら D ゲインを弱く，バランスを取るだけなら D ゲインは強い方が乗りやすかったです．大きなものから小さなものまで制御できるフィードバック制御はとてもかっこいいなと思いました．

5.3 倒立振り子模型を使った制御理解に関する実験結果

5.3 倒立振り子模型を使った制御理解に関する実験結果

倒立振り子模型制御実験の結果について述べる．対象は A 高校電子機械科 3 年生である．まず倒立振り子制御を構築できたかについては，7 割以上の生徒が外乱に対して安定した制御を構築できた．さらに，的確に倒立振り子プログラムを構築したこと，各制御パラメータの効果を適切に表現する記述を確認した．倒立振り子模型の制御結果を表 5-6 に示す．生徒の代表的な感想を示す．なお，平成 23 年度前半に実施した 2 班については，教材準備時期であった為，未実施とした．

次に，体感から制御理解を引き出せたかを検討する．制御理論通りに動くロボットに感動している様子が観察できた．初めて触れる倒立振り子模型を制御することが速やかに行えた振る舞いおよび班ごとの倒立振り子コンテストの様子からわかった．手順を踏まえ，制御パラメータの適切なゲイン設定により構築することを考慮すると，体感による制御理解により，適切なプログラムを模型に構築する結果に結び付いたと言える．

5.3 倒立振り子模型を使った制御理解に関する実験結果

表 5-6 倒立振り子模型の制御結果

年度	実習班	人数	倒立振り子実験	倒立制御できた人数	外乱に強い制御ができた人数	割合
平成23年度	1	10	10	10	8	80%
	2	10	未実施	0	0	－
	3	10	未実施	0	0	－
	4	10	10	10	7	70%
平成24年度	1	10	10	10	9	90%
	2	10	10	10	7	70%
	3	10	10	10	8	80%
	4	10	10	10	9	90%
合計/割合		80	60	60	48	80%

(1) 4週目倒立振り子模型の制御実習の感想

① F君

倒立振り子ロボットを動かしながら、悪いところを探してゲインの調整をしていく作業は少し大変だったけどとても楽しかった。やりがいがありました。ロボットの動きを見て、自分で調整していき、ロボットの動きが良くなるのはうれしかったです。最終的には、あまり動かないロボットにすることはできませんでしたが、外からの力には強いロボットができたのでうれしかったです。

(感動に関する記述：3，制御に関する記述：4)

② G君

倒立振り子の振れ幅が大きかった。また、外乱に弱かった。他の人の良いプログラムを入れて動かしたら精度がよかったので倒立振り子自体には性能の差はなかった。

自分で考えた各パラメータの値をプログラムに入れたところ、移動距離が長くなったため、不安定だった。距離ゲインの数値を上げる、または、角度ゲインの数値を多少いじれば問題が解決できたのかもしれない。倒立振り子は想像以上に上手く立たせるのが難しかった。最終的にはタイムアップで納得いくものは出来なく、残念だった。しかし、難しいからこそやりがいを感じた。他の人の倒立振り子の出来の良さに驚いた。また、外乱に強いものがあったが、どのように外乱に強くしたのだろうと思った。

(感動に関する記述：2，制御に関する記述：4)

5.3 倒立振子模型を使った制御理解に関する実験結果

(2) 倒立振子模型調整中の様子

① 制御の効果を体感して理解した結果，倒立振子模型のプログラムを作成しバランスをとる制御実験を行った場合，ほとんどの生徒が実習時間内に，安定した制御を構築実現することができた．集中して調整を続ける生徒が見られた．

② 考え込んでしまう生徒もいるが，工学全般に興味を持たなかった生徒が，班で一番よく調整できた例も確認できた．このことから生徒の積極的な態度を引き出している．初めに位置決め制御実験を行い PID 制御の意味を理解し，一通り制御パラメータ意味を習得する．まだ実感が湧かない生徒に対して体感に基づく制御実験を行うことは，倒立振子模型を使った実験に対して効果的と推測する．

5.4 本章のまとめ

① 製作について

生徒は 1 年間の製作実験を通して、本教材を参考に機械加工，電子回路製作，配線作業に取り組みロボット教材 2 号機を完成させた。生徒は技術・技能の活用方法を身に付けた。また，生徒は制御を理解できたと同時に，倒立振子制御が構築できた感動を得たことが報告書の感想から明らかになった。生徒は製作を通して実践力，コミュニケーション力を発揮して完成させた。製作に関する ARCS モデルの C 自信，S 満足感に相当する感動を得たことが明らかになった。次に制御プログラム作業に取り組み倒立振子制御を構築することができた。制御プログラムは，作品で確認しながら調整する必要がある，ロボットを使ったマイコン制御の経験がない生徒では難しいものだったが，搭乗するステップを水平にする PID 制御を構築できた。この作業を通して，生徒からは肯定的な感想を得ることができた。各制御パラメータについて調整作業を進めた結果，制御の理解について「はっきりとわかった」，「理解できた」等の肯定的な感想を得ることができた。6 名の生徒について，ARCS モデルの「C」自信と「S」満足感を達成できたことが明らかになった。

② 制御パラメータの体感について

本教材による体感に基づく制御パラメータの効果は，感動を誘発すると共に学習意欲を向上させた。特に制御について学習経験がない学生にも，もっと学習したいという意欲を引き出していることが明らかになった。生徒に対しては作ってみたい意欲とロボット制御に関する意欲を引き出している。生徒に対しては ARCS モデルに該当する「CS」の段階の感動，意欲に結び付けられていることが明らかになった。

③ 制御理解と応用について

生徒は体感から得た制御パラメータの違いを理解した結果，倒立振子模型の制御を構築できた。約 7 割の生徒は倒立振子模型制御に素早く応用している様子が確認できた。また，集中して取り組む生徒が多く見られた。

第6章 考 察

6.1 はじめに

本章では、研究の目的と研究成果を再確認し考察を加える。本研究の第1の目的は、生徒に対するメカトロニクス教育に用いる体感と感動に基づく搭乗型倒立振子台車を開発することである（以下、第一の目的とする）。第2の目的は、本教材を使った製作および体感に基づく制御実験を行い、学習意欲の向上と制御理解を引き出せるか検証することである（以下、第二の目的とする）。以上のことから、生徒に対する魅力あるメカトロニクス教材の教育効果を明らかにした。

6.2 製作に関する考察

生徒に対する魅力的なメカトロニクス教材として、フィードバック制御実習に用いる搭乗型倒立振子台車を開発した。第2章では研究の新規性、開発の方向性を検討した。第3章では教材の要求仕様、製作方法について検討を加えた。工業教育の現状から教育課程、学習内容、授業で製作できる要素を把握し、生徒が本教材の製作を体験し、ものづくりおよびフィードバック制御技術への自信、満足感、制御理解を引き出すメカトロニクス教育を提案した。教育の評価は筆記試験等で把握、評価できるものと、評価しづらいものがある。データや数値は一定の説得力を示すが、学習成果の一面しか捉えることができないと考える。本研究で取り上げている理解できた自信や満足感、次の段階の課題解決に対して意欲的、積極的に関わる実践力は数値で表しにくいと考える。そこで、達成感、満足感に相当する感動語、振る舞いなど行動から評価すること、倒立振子模型への制御構築の成果で評価することを提案した。一方では目標を高く設定してしまえば、達成できないことが予想されるため、技術課題は小目標に分けて課題解決を行うスモールステップの教育の中で実施することが効果的と言える。それぞれの段階にARCSモデルに基づく課題を準備し学習することで効果的なメカトロニクス教育が実現できる。

製作に関する実験の結果、生徒が3年間に学習したメカトロニクスに関する機械、電気・電子、情報技術の知識に加えて、機械加工、マシニングセンタ作業、電子回路製作、組立作業、制御プログラミングなど技術・技能の活用により製作できることを確認した。作品

6.3 体感および制御理解に関する考察

の仕上がり，生徒の感想，倒立振子制御を構築する過程の行動，振る舞いから評価した．教材に搭乗し制御プログラムを構築する過程では，制御理解を引き出し自信，満足感を高め実践力を育成できることを確認した．以上のことから教材の要求仕様，設計，製作方法が適切であることを明らかにした．第1の目的は達成できた．

6.3 体感および制御理解に関する考察

本教材に搭乗し体感による制御パラメータの効果を検証するために学生および生徒に対して実験を行い，アンケート調査を実施した．特徴的な結果は，ロボットに乗った後にロボットに対する興味関心が乗る前と比べて高くなった点である．肯定的な回答をした工学部以外の学生は8割以上，生徒は7割以上と高く，強い印象与え，学習意欲を高めている．さらに製作に関する意欲，操作や制御理解への意欲に結び付く質問に対して，生徒の肯定的な回答がいずれも8割以上であり，高い教育効果が明らかになった．

次に制御理解を引き出す教育効果を検証するために，体感実験および倒立振子模型への応用実験を行った．実験結果から，生徒の倒立振子模型の制御に熱心に取り組む行動や振る舞いを確認し，7割以上の生徒が順調に倒立振子制御を構築することができた．即ち生徒は制御パラメータの効果を体感した結果，制御理論の理解に結び付けて活用し倒立振子制御の構築ができたと言える．以上の結果から生徒を対象にしたメカトロニクス教材として有用であることを明らかにした．第2の目的を達成できた．

6.4 本章のまとめ

- ・第1の目的について，教材の要求仕様，設計，製作方法が適切であることを明らかにした．
- ・第2の目的について，制御パラメータの違いを体感することにより制御理解，自信，満足感など感動を引き出し高める本教材の教育効果を明らかにした．

第7章 結 論

7.1 本研究の結論

若者の理科離れやものづくりの現場に携わる人材の減少が指摘されているが、改善する有効な方法は見つかっていない。現状を改善するために、工業高校の生徒を対象にした魅力あるものづくり教育が重要である。そこで、生徒を対象にしたメカトロニクス教育に用いる体感と感動に基づく教材を開発し教育効果について検討した。この教材を用いて制御理解に結びつくメカトロニクス教育方法および教育効果を検討した。本研究では、ARCS 動機づけモデルに基づき教材を製作することについて検討を加え、生徒の学習に対する動機づけや学習意欲を高め、感動を引き出す効果があることを示した。さらに制御理解の効果的な仕掛けとして、制御パラメータの効果を体感することを検討した。3種類の製作実験、体感に関する実験、倒立振子模型への応用実験結果から、調整過程の行動、感想に記述された感動語をもとに評価し有用性を明らかにした。

本論文は7章で構成されており、以下に各章の内容を述べる。

第1章「序論」では、体感と感動に基づくメカトロニクス教材の開発と教育効果に関する研究の社会的背景と必要性を明らかにし、本研究の目的と構成を示した。

第2章「関連研究」では、魅力的なメカトロニクス教育及び教材開発の方法を検討した。学習意欲を高め制御理解を深める方法と他の研究事例について述べた。その結果、ARCS モデル、感動、倒立振子、体感に基づき設計することで有効な教材を開発できること、新規性を検討した。

第3章「体感に基づく教材の開発とロボット感動教育」では、本教材の製作、実験、教育効果、評価方法について検討し、教材開発の方法を提案した。教材の要求仕様から搭乗型倒立振子台車であり、ロボットに搭乗することで制御の効果を体感する構造とした。制御パラメータの違いを体感することで制御理解を引き出す教材である。教育効果は生徒にとってはやや難しい制御技術に対して学習意欲を引き出し、自信、満足感に結び付けることができる点である。体感から制御パラメータの違いを理解する方法を活用し、初心者、生徒に対して教育効果が期待できる。バランスの崩れやすい倒立振子の制御に用いることにより、見た目、体感、搭乗し操作することで感動を誘発し動機づけを高めることができる教材を提案した。

第4章「本教材を使った教育効果に関する実験」では、本教材による教育効果を検証す

7.1 本研究の結論

るため、次の3種類の実験を行った。製作に関する実験、学生・生徒に対する体感実験、制御理解と応用に関する実験を行い、体感から得た知識・技術を倒立振子模型の制御に応用できるか確認した。

第5章「本教材のメカトロニクス教育に関する実験結果」では3種類の実験結果から、教材の教育効果について検討した。それぞれの実験結果から生徒に対する教育効果として、動機づけを高め、感動体験から課題に対するやる気、自信、満足感を与える。制御パラメータの違いの体感により制御理解を引き出す効果を発揮している結果を得た。制御理解に関する評価方法として、倒立振子コンテストを実施した。10人の1班で相互評価により順位づけを行い、調整過程の行動、感想に記述された感動語を基に教育効果を確認した。

第6章「考察」では、製作実験、体感に関する実験、倒立振子模型への応用実験結果から、調整過程の行動、感想に記述された感動語をもとに評価し有用性を検討した。製作実験結果では、人が搭乗できる実用的なロボット開発に触れ、学習したメカトロニクスに関する機械、電子、情報技術の活用方法を身に付けられたことを作品、感想から明らかにした。部品製作、制御プログラム作成、調整作業を通してロボット製作を体験できたこと自体に刺激を受けている様子もあり、搭乗し制御の効果を確認する様子からは達成感、満足感を得て感動を示す結果を得た。また、温度制御と比較した場合のPID制御の効果をわかり易いと表現する様子も確認できた。さらに体感から得た制御理解を倒立振子模型制御へ活用する結果が確認できた。このことから本教材が生徒に対するメカトロニクス教育として制御理解を引き出し、学習意欲を高める教育効果を発揮し有用であることを明らかにした。

7.2 展望

7.2 展望

本研究の今後の展望について述べる．本教材の開発および体感と感動に基づくメカトロニクス教育の実現により，若者の理工学離れ対策および制御技術・知識を備えた人材の育成への貢献が考えられる．

1 体感に基づく制御教材の開発

体感に基づく教材を開発することで，メカトロニクスに興味を持った人材育成に貢献することが期待できる．

2 制御技術・知識を備えた人材の育成

本教材の活用により，ものづくりに精通し制御に興味を持った生徒が増えて，大学へ進学する優秀な生徒も増えるだろう．ものづくりの実学と工学としての制御理論を理解したものづくり技術者育成に貢献することが期待できる．

参考文献

- [1] 増田貴司, “「理科離れ」解消のために何が必要か「世界一受けたい授業」だけでは, ものづくりの危機は救えない”, 東レ経営研究所, 経営センサー, Vol. 94, pp. 12-25, 2007.
- [2] 黒杭誠治, “理科離れについて考える”, 工学教育, vol. 50, No4, pp. 27-34, 2002.
- [3] 鶴岡森昭, 永田敏夫, 細川敏幸, 小野寺彰, “大学・高校理科教育の危機: 高校における理科離れの実状”, 北海道大学, 高等教育ジャーナル, Vol. 1, pp. 105-115, 1996.
- [4] 渡辺良男, “理科離れは止めることができるか?”, 工学教育, vol. 56, No. 6, pp. 85-89, 2008.
- [5] 藤本隆宏, 新宅純二郎, 善本哲夫, “ものづくり経営の今後”, パナソニック技報, Vol. 55, No. 3, pp. 176-181, 2009.
- [6] 岩本正敏, 水谷好成, 鈴木南枝, 中村昇, “ロボットキット「梵天丸」の開発と教育実践”, 日本ロボット学会誌, Vol. 24, No. 1, pp. 2-6, 2006.
- [7] 琴坂信哉, “ロボットによる科学・技術人材育成活動”, システム制御情報学会誌, Vol. 55, No. 7, pp. 271-277, 2011.
- [8] 佐橋翔太, 長谷川忠大, 水川真, 安藤吉伸, 吉見卓, “自律型倒立振子ロボットを題材としたメカトロニクス教育の実施と評価”, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, pp. 2A2-H07(1)-2A2-H07(2), 2011.
- [9] 長谷川雅康, 三田純義, 佐藤史人, 佐藤浩章, 吉留久晴, 丸山剛史, “高校工業教育における実験・実習の内容とその教育効果に関する実証的調査研究”, 平成 17~19 年度科学

参考文献

研究費補助金研究成果報告書, 2008.

[10] J. M. Keller, 鈴木克明監訳, “学習意欲をデザインする—ARCS モデルによるインストラクショナルデザイン”, 北大路書房, 2010.

[11] 中嶋康二, “学習意欲を高める ARCS モデルの拡張と実践利用に関する研究”, 熊本大学博士論文, 2014.

[12] CiNii <http://ci.nii.ac.jp/>

[13] 鈴木克明, “「魅力ある教材」の設計開発をめざして—ARCS 動機づけモデルと CAI 設計への応用—”, 日本教育工学会第 3 回大会発表論文集, pp. 375-376, 1987.

[14] 鈴木克明, “「魅力ある教材」設計・開発の枠組みについて : ARCS 動機づけモデルを中心に”, 教育メディア研究, Vol. 1, No. 1, pp. 50-61, 1995.

[15] 鈴木克明, 根本淳子, 合田美子, “我が国における ARCS モデルを巡る研究動向”, 教育システム情報学会論文集, pp. 99-100, 2010.

[16] 中富竜一郎, 沖由梨佳, 堀部典子, “ARCS モデルを適用した教育用 Web システムの開発”, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 10, No. 3, pp. 735-738, 2011.

[17] 王文涌, 池田満, 李峰栄, “プログラミング教育における動機づけ教授方法の提案と評価”, 日本教育工学会論文誌, Vol. 31, No. 3, pp. 349-357, 2007.

[18] 稲守栄, 千田和範, 野口孝文, 荒井誠, 小清水誠, “モジュール構造を取り入れた学生実験用シーケンス制御学習教材の開発と評価”, 工学教育, Vol. 54, No. 4, pp. 21-26, 2006.

[19] ロボット教育研究専門委員会, “ロボット教育研究専門委員会 (Robot Education) 報告書”, 日本ロボット学会, 2011.

参考文献

- [20] 河村隆, 村井健介, “ロボット感動教育の地域活動財について”, 日本ロボット学会誌 Vol. 31, No. 2, pp. 206-211, 2013.
- [21] “ロボット政策研究会中間報告書～ロボットで拓くビジネスフロンティア～”, 経済産業省, 2005.
- [22] 村井健介, “国策としてのロボット教育への期待”, ロボット感動教育シンポジウム 2010 予稿集, pp. 6-11, 2010.
- [23] 前田貴信, “高専におけるロボコン教育”, ロボット感動教育シンポジウム 2010 予稿集, pp. 22-25, 2010.
- [24] 川原田康文, “サイエンスを重視したロボット教育”, ロボット感動教育シンポジウム 2010 予稿集, pp. 26-29, 2010.
- [25] 青木悠祐, 杉山隆介, 戸塚拓伸, “車輪型倒立振子教材による実験導入の検討”, 高等専門学校情報処理教育研究発表会論文集, Vol. 30, pp. 14-17, 2010.
- [26] 伊藤隆洋, 金田忠裕, 横山智彰, “車輪型倒立振子を用いたメカトロニクス教材の開発:現代制御理論の基礎学習教材”, 日本高専学会誌, Vol. 15, No. 3, pp. 33-38, 2010.
- [27] 浅井徹, 大須賀公一, 石川将人, 井上正樹, “体感型制御実験装置を用いた動機づけ講義とその効果”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 48, No. 10, pp. 622-631, 2012.
- [28] 井上正樹, 石川将人, 浅井徹, 大須賀公一, “体験型導入講義のための制御実験装置の小型化・低価格化”, 計測自動制御学会論文集, Vol. 49, No. 2, pp. 284-291, 2013.
- [29] 戸梶亜紀彦, “『感動』喚起のメカニズムについて”, 認知科学, Vol. 8, No. 4, pp. 360-368, 2001.

参考文献

- [30] 戸梶亜紀彦, “「感動」に関する心理学的・認知科学的考察”, 日本認知学会テクニカルレポート, Vol. 29, pp. 27-32, 1999.
- [31] 戸梶亜紀彦, “『感動』体験の効果について : 人が変化するメカニズム”, 広島大学マネジメント研究, Vol. 4, pp. 27-37, 2004.
- [32] 戸梶亜紀彦, “感動喚起測定尺度の作成に関する検討(2) —感動類型における主体的客体の場合—”, 感情心理学研究, Vol. 20, pp. 28, 2012.
- [33] 畑下真里奈, 瀬戸美奈子, “大学生における感動体験が自己効力感に及ぼす影響”, 総合福祉科学研究, Vol. 3, pp. 97-104, 2012.
- [34] 宇野寛文, “感動体験を核とした生活科学習の在り方に関する研究 ～心理学的, 教育的側面から得られた5つの視点を基に～”, 生活科・総合的学習研究, Vol. 7, pp. 71-76, 2009.
- [35] 佐々木智美, 皆川直凡, “大学生・大学院生が想起する感動体験の特徴の分析 : 自伝的記憶としての感動体験”, 鳴門教育大学情報教育ジャーナル, Vol. 10, pp. 21-28, 2013.
- [36] 山田富美雄, 江川猛, “モノ作りコンセプトとしての「感動」の生理心理学的測定”, 生理心理学と精神生理学, Vol. 24, No. 1, pp. 49-56, 2006.
- [37] 大出訓史, 安藤彰男, 谷口高士, “感動評価尺度による音楽コンテンツの価値評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 111, No. 496, pp. 37-42, 2012.
- [38] 大出訓史, 今井篤, 安藤彰男, “音楽聴取における「感動」の評価要因—感動の種類と音楽の感情価の関係”, NHK 技研 R&D, Vol. 126, pp. 58-69, 2011.
- [39] “高等学校学習指導要領解説工業編”, 文部科学省, 2010.

参考文献

- [40] 伊藤輝子, 神田伸生, 細川かおり, 橋本弘道, “電子計測制御 新訂版 文部科学省検定済教科書”, 高等学校工業科用, 実教出版版, 2009.
- [41] 原利次, “工房教育と融合科目による体験的「実工学」基礎教育の実践”, 工学教育, Vol. 57, No. 1, pp. 35-40, 2009.
- [42] “社会人基礎力”, 経済産業省, <http://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/>. 2014.
- [43] 板生清, “メカトロニクスシステムの軌跡 機電一体からマイクロ・ナノの世界まで”, 精密工学会誌, Vol. 65, No. 1, pp. 19-24, 1999.
- [44] “これまで提言された様々な資質・能力について”, 文部科学省, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/095/shiryo/__icsFiles/afieldfile/2012/12/18/1329013_02.pdf. 2011.
- [45] 田崎隆男, 大根田浩久, 嘉藤俊介, 渡邊信一, 尾崎功一, “体験によるメカトロ教育のための移動ロボットの開発”, 日本機械学会, ROBOMECH2008, 2A1-I13, 2008.
- [46] 田崎隆男, 渡邊信一, 鹿内佳人, 尾崎功一, “体感に基づくメカトロ教育のための制御教材の開発”, 工学教育, vol. 58, No. 4, pp. 79-83, 2010.
- [47] Segway, <http://www.segway-japan.net/technology/segway/index.html>.
- [48] “評価規準の作成, 評価方法等の工夫改善のための参考資料 (高等学校 専門教科 工業)～新しい学習指導要領を踏まえた生徒一人一人の学習の確実な定着に向けて～”, 国立教育政策研究所教育課程研究センター, http://www.nier.go.jp/kaihatsu/hyouka/k-sen/2_ksen_kougyou.pdf. 2013.
- [49] 松下佳代, “パフォーマンス評価による学習の質の評価 : 学習評価の構図の分析にもとづいて”, 京都大学高等教育研究, Vol18, pp. 75-114, 2012.

参考文献

- [50] 西岡加名恵, “パフォーマンス評価を取り入れた「高大接続評価システム」の提案”, 中央教育審議会高大接続特別部会, 2013.

謝 辞

本研究を進めるにあたり、御指導、御鞭撻を賜りました宇都宮大学大学院 尾崎功一教授に心から感謝申し上げます。長い研究生生活の間、先生から頂いた暖かいご助言、および適切な御指導により、本研究を完成することができました。

また、本研究をまとめるにあたり、貴重なご助言を賜りました、宇都宮大学大学院 畑沢鉄三教授、横田和隆教授、嶋脇聡准教授、鄒艶華准教授、渡邊信一准教授に深く感謝いたします。

そして、副専門の履修にあたり、感性工学に関して御指導いただきました宇都宮大学 春日正男名誉教授、バイオメカニクスに関して御指導いただきました嶋脇聡准教授に深く感謝いたします。

さらに、本論文に御助言、御協力を頂きました静岡理工科大学理工学部 鹿内佳人講師、宇都宮大学工学部附属ものづくり創成工学センター 原紳助教に深く感謝いたします。

公私にわたり幅広い御協力を頂きました宇都宮大学計測ロボット研究室の卒業生、修了生および研究室一同に感謝いたします。特に平成 20 年度博士前期課程修了生 嘉藤俊介氏、豊田浩二氏、中川佐苗氏、大関かおり氏、小池琢也氏には教材の試作段階で御協力を頂き深く感謝いたします。

最後に、私の研究生生活を私生活の面で暖かく支えていただいた家族、父 田崎利男、篠崎紘二、母 田崎春子、故篠崎トシ子、妻 田崎恭子、3 人の子供達、並びに親戚の方々に深く感謝の意を表して結びといたします。

発表論文

学会誌等論文

1. 田崎隆男, 渡邊信一, 鹿内佳人, 尾崎功一, “体感に基づくメカトロ教育のための制御教材の開発”, 工学教育, Vol. 58, No. 4, pp. 79-83, 2010.
2. Takao Tasaki, Shinichi Watanabe, Yoshihito Shikanai, Koichi Ozaki, “Development of Hands-on Educational Tool for Control Based on ARCS Model and Emotions,” Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 23, No. 5, pp. 676-683, 2011.

口頭発表論文

3. 田崎隆男, 大根田浩久, 嘉藤俊介, 渡邊信一, 尾崎功一, “体験によるメカトロ教育のための移動ロボットの開発”, 日本機械学会, ROBOMEC2008, 2A1-I13, 2008.
4. 田崎隆男, 大根田浩久, 嘉藤俊介, 渡邊信一, 尾崎功一, “体感に基づく工業教育の提案とその効果 -メカトロ教育に対する移動ロボットの開発とその評価-”, 日本工学教育協会, 工学・工業教育研究講演会, Vol. 56, 2008.
5. 田崎隆男, 渡邊信一, 尾崎功一, “感性を誘発する制御教材の開発”, 日本工学教育協会, 第 57 回工学・工業教育研究講演会, 2009.
6. 田崎隆男, 渡邊信一, 鹿内佳人, 尾崎功一, “工学教育のための体感と感動に基づく制御教材の開発”, 日本ロボット学会, 日本ロボット学会学術講演会, 2010.
7. 田崎隆男, 蓮田裕一, 針谷安男, “工業高校におけるマシニングセンタを用いた簡易マイクロ加工の授業への導入とその効果”, 日本産業技術教育学会, 第 54 回全国大会(宇都宮), 2011.
8. 田崎隆男, 尾崎功一, “搭乗型移動ロボット製作によるメカトロニクス教育”, 日本機械学会, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2013.

業績番号	1	2	3	4	5	6	7	8
第1章 序論								
第2章 関連研究	○	○						
第3章 体感に基づく教材の開発と ロボット感動教育	○	○	○	○			○	○
第4章 本教材を使った教育効果に 関する実験	○	○	○	○	○	○		○
第5章 本教材のメカトロニクス教育に 関する実験結果	○	○	○	○	○	○	○	○
第6章 考察	○	○			○	○		○
第7章 結論	提案した手法のまとめ							

付録A メカトロニクス教育，フィードバック制御に関する資料

A. 1 制御ブロック線図について

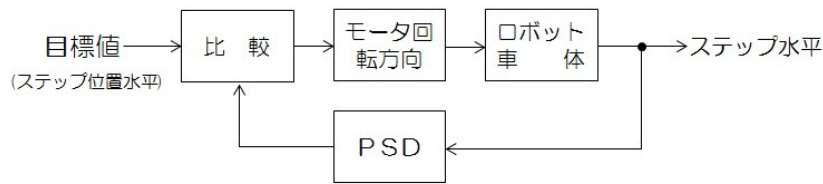


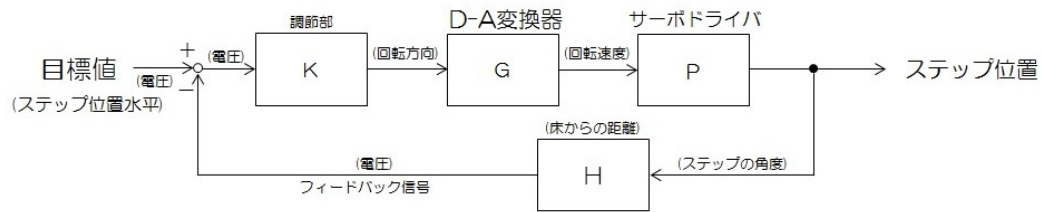
図 A1-1 搭乗型移動ロボットの制御



図 A1-2 フィードバック制御システムの構成要素

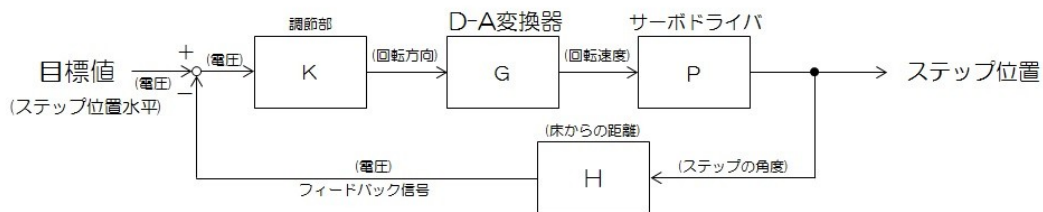


図 A1-3 搭乗型移動ロボットの制御構成



搭乗型移動ロボットの制御システムとブロック線図

図 A1-4 搭乗型移動ロボットの制御システムとブロック線図



$$\frac{y}{x} = \frac{KGP}{1 + KGP H}$$

図 A1-5 搭乗型移動ロボットの制御システムと伝達関数

付録 B 「特許倒立振子型移動体および教育教材に関する考察」

B.1 倒立振子とは

長さ 1 m 位の棒を掌に載せ、倒れないように手を操作する動作に例えられる。振り子が逆さまになり、垂直に立っている状態を維持する制御のことである。現在は、フィードバック制御の基礎として様々な実験装置、台車が研究されている。実用的な製品として 2 輪型のセグウェイがある。

B.2 特許に関するもの（特許資料より抜粋）

B.2.1 倒立振子型移動体および教育教材

生徒に対して、興味を引き付ける動きであり、作ってみたい機械である。さらに制御を学ぶ学科の生徒であれば、さらに興味を持つであろう。そして、この仕掛けに搭乗できることができれば、さらに興味を持つであろう。理科実験のように体験して終わりではなく、興味が持続する教材といえる。理論を知り、作ってみたり、制御してみる体験は卒業後に自動化の技術者として制御を実現していくことに対して自信を持てるであろう。

B.2.2 教材の教育効果

B.2.1 で示した機能、価値を保証するためには、次のことを実現する必要がある。本教材の価値は次のとおりである。

シンプルなつくりで、生徒が自ら製作できそうな構造であること。搭乗するためには、最低限のメカトロニクス技術としてフィードバック制御を学ぶことが要求されるため、学習意欲を引き出し高めやすい。搭乗することで体感から制御パラメータの効果を理解することができる。そのためには、制御のパラメータを外部に設置したスイッチで調整できるようにした。パラメータの調整により、修正量や修正の反応の速さを変化させることができる。搭乗することで制御の効果を体験できる装置として利用すればわかり辛い理論を体感から促進することができる。教育用には、シンプルな構造と水平になる制御が最適である。倒立した状態を維持する動きを体感できれば、制御の意味を理解できるだろう。

以上の理由から、倒立振子型移動体を製作し教育に活用しようと考えた。魅力的な要素を含んだ実験装置である。

B.2.3 制御の理論や特徴

水平にする動きを感知するセンサには PSD を採用した。距離センサとして PSD を使うことで、生徒でも傾き具合を目で見たとおりに、偏差としてとらえやすい。

このことは、他の倒立振り子装置には見当たらない。しかも 2 つの PSD があれば、基本的な制御を構築することができる。例えば、左センサから右センサの値の差で傾き具合を求めるデータを取得できる。

マイコン制御を学習した生徒であれば、PSD のアナログ値から AD 変換機能を使い比較的容易に偏差を求めるプログラムを作成できる。

このことから、基本的なプログラムの学習をするレベルのことで、高度な技術と思われる倒立振り子制御を実現できる。ゆえに、生徒は自信、達成感、満足感を得ることができる。次の課題にも積極的に、課題に取り組む姿勢が身に付くと考える。

以上のことから制御教材として最適と考える。ほかの教材にない特長を備えている。

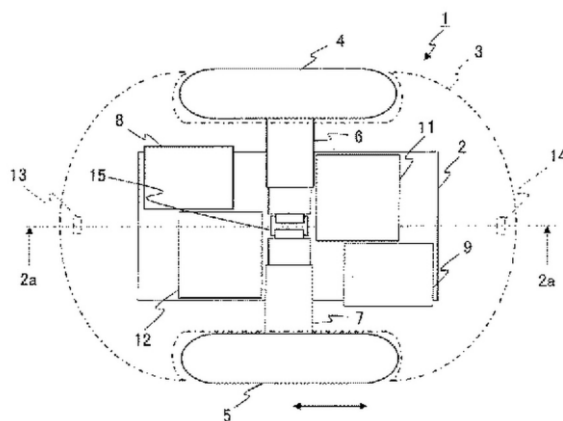


図 B2-1 倒立振り子型移動体の平面図

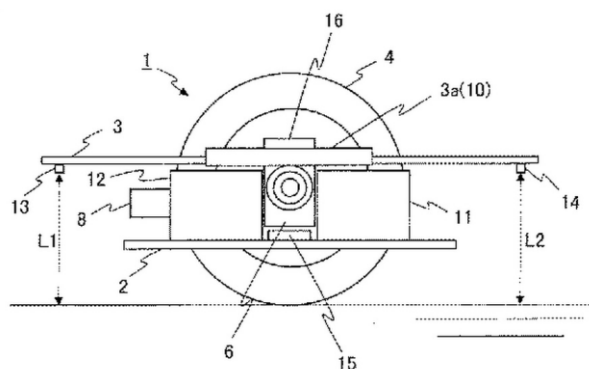


図 B2-2 倒立振り子型移動体の 2a-2a 断面図

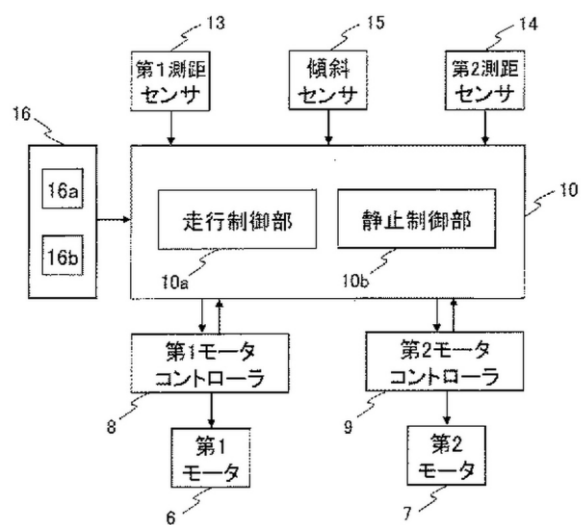


図 B2-3 倒立振り子型移動体の制御図